



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**IMPLEMENTASI DAN EVALUASI KINERJA *MULTI CARRIER DIRECT SEQUENCE CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS* (MC DS CDMA) MENGGUNAKAN WARP**

Moh Ismail Marzuki  
NRP 2211100008

Pembimbing  
Dr.Ir. Titiek Suryani, M.T  
Dr.Ir. Suwadi, M.T

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



**IMPLEMENTASI DAN EVALUASI KINERJA MULTI  
CARRIER DIRECT SEQUENCE CODE DIVISION  
MULTIPLE ACCESS (MC DS CDMA)  
MENGUNAKAN WARP**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Menenuhi Sebagai Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Multimedia

Jurusan Teknik Elektro

Institute Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Titiek Survani, M.T.

NIP. 196411301989032001

Dr. Ir. Suwadi, M.T.

NIP. 196808181993031002

**SURABAYA  
JULI 2015**

# **Implementasi dan Evaluasi Kinerja Multi Carrier Direct Sequence Code Division Multiple Access (MC DS CDMA) Menggunakan WARP**

Nama : Moh Ismail Marzuki  
Pembimbing : Dr. Ir. Titiek Suryani, M.T.  
Dr. Ir. Suwadi, M.T.

## **ABSTRAK**

Kebutuhan akan komunikasi wireless yang handal sudah menjadi isu pengembangan teknologi komunikasi di era modern ini. Sistem komunikasi MC-DS-CDMA menawarkan keunggulan dalam efisiensi penggunaan spectrum frekuensi melalui prinsip *multicarrier* serta tingkat keamanan informasi yang baik melalui prinsip *direct sequence*. WARP (*Wireless Open Access Research Platform*) merupakan salah satu jenis dari teknologi SDR (*Software Defined Radio*) yang bisa diprogram untuk membuat *prototype* sistem komunikasi nirkabel, salah satunya untuk sistem komunikasi MC DS CDMA. Pengimplementasian sistem komunikasi MC DS CDMA dengan menggunakan perangkat WARP bertujuan untuk mengevaluasi unjuk kerja sistem komunikasi MC DS CDMA serta untuk mengetahui berapa banyak *user* yang mampu dilayani secara simultan pada saat downlink oleh sistem komunikasi MC DS CDMA dibandingkan terhadap SC DS CDMA. Dengan panjang kode *Gold 63*, hasil yang diperoleh adalah nilai BER akan semakin meningkat seiring dengan pertambahan jarak antar *node*. Untuk pengiriman 1 *user*, pada jarak 3 meter nilai untuk gain 20 adalah 0, sedangkan pada jarak 5 meter untuk gain yang sama nilai BER adalah 0,0011. Nilai BER juga berbanding terbalik dengan level daya pancar, dimana semakin besar level daya pancar maka nilai BER semakin kecil. Untuk pengiriman 1 *user*, pada jarak 5 meter untuk level daya pancar 10 diperoleh nilai BER 0,0125 dan untuk level daya pancar 20 diperoleh nilai BER 0,0016. Selain itu hasil yang diperoleh adalah sistem komunikasi MC DS CDMA lebih cocok diterapkan untuk komunikasi *multiuser* daripada SC DS CDMA dengan dibuktikan kurva BER yang masih *smooth* turun terhadap kenaikan *gain* untuk pengiriman data 20 *user*. Nilai BER juga sama turunnya terhadap kenaikan nilai daya pancar maupun Eb/No.

**Kata Kunci** : MC DS CDMA, WARP, BER, User, Eb/No

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

# **Implementation and Performance Evaluation of Multi Carrier Direct Sequence Code Division Multiple Access (MC DS CDMA) Using WARP**

Name : Moh Ismail Marzuki  
Supervisors : Dr. Ir. Titiek Suryani, M.T.  
Dr. Ir. Suwadi, M.T.

## **ABSTRACT**

The need for reliable wireless communication has become an issue in the communication technology development in this modern era. MC-DS-CDMA as a one of communication system, offers advantages in efficiency with frequency spectrum use through multicarrier principle and a good level of information security through the principle of direct sequence. WARP (Wireless Open Access Research Platform) is one type of SDR (Software Defined Radio) technology that can be programmed to create a prototype of a wireless communication system, such as in MC DS CDMA communication system. Implementation of MC DS CDMA communication system using WARP device aimed to evaluate the performance of MC DS CDMA communication systems as well as to determine how many users are able to be served simultaneously at the time of the downlink by MC DS CDMA communication system compared to SC DS CDMA. For 63 Gold code length, the results were BER value increased along with the increased of distance between nodes. For single user transmission at a distance of 3 meters with value of gain 20 was 0, while at a distance of 5 meters with the same value of gain, the BER value was 0.0011. BER value was also inversely proportional to the PTx level, the larger the PTx level, the smaller the value of BER. For single user transmission at 5 meters distance with PTx level 10, BER values obtained was 0,0125, with PTx level 20 BER values obtained was 0.0016. The results obtained were MC DS CDMA communication system was more suitable to be applied for multiuser communication than SC DS CDMA proven with BER curve was smooth down to 20 user data transmission. BER value was similarly fell down to the increase in PTx level and Eb/ No.

**Keywords:** *MC DS CDMA, WARP, BER, User, Eb / No*

-----*This page is intentionally left blank*-----

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan segala rahmat dan hidayahnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul :

### **Implementasi dan Evaluasi Kinerja Multi Carrier Direct Sequence Code Division Multiple Access (MC DS CDMA) Menggunakan WARP**

Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi dalam menyelesaikan program studi strata 1 pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh November. Dalam proses pengerjaan tugas akhir ini penulis telah terbantu oleh beberapa pihak, antara lain :

1. Almarhum Ayah tercinta, ibunda tercinta, kakak dan keponakakn tercinta yang tak henti – hentinya selalu menyemangati dan memberi dukungan baik materiil maupun nonmateriil.
2. Ibu Dr. Ir. Titiek, MT dan bapak Dr. Ir. Suwadi, MT selaku dosen pembimbing yang selalu memberi bantuan dan masukan demi terselesaikannya tugas akhir ini.
3. Dosen – dosen ITS yang telah mengamalkan ilmunya dalam proses belajar mengajar, semoga ilmu yang ditularkan akan senantiasa bermanfaat bagi penulis dan lingkungan sekitar penulis.
4. Teman – teman seperjuangan WARP *team*, yang senantiasa memberikan bantuan baik melalui diskusi maupun semangat serta canda tawa selama proses pengerjaan tugas akhir ini.

Hasil dan manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk pengembangan metode atau teknik lainnya yang bermanfaat untuk kemajuan umat manusia. Dalam proses perbaikan dan pengembangan, kritik dan saran terhadap penelitian ini sangat dibutuhkan untuk mengetahui kekurangan dan kebutuhannya. Terima kasih banyak

Surabaya, Juli 2015

Penulis



-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Metodologi Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Modulasi .....	7
2.1.1 Modulasi Binary Phase Shift Keying (BPSK) .....	7
2.2 Teknik Spread Spectrum.....	9
2.2.1 Direct Sequence Spread Spectrum.....	9
2.2.2 Deretan Pseudo-Noise (PN).....	11
2.2.3 Kode Gold.....	18
2.3 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM).....	19
2.3.1 Kelebihan dan Kekurangan OFDM.....	19
2.4 Multi Carrier Direct Sequence Division Multiple Acces (MC DS CDMA).....	20
2.5 Kanal Propagasi.....	22
2.5.1 Kanal AWGN.....	22
2.5.2 Kanal Rayleigh Fading.....	23
2.5.2.1 Flat Fading.....	24
2.5.2.2 Frequency Selective Fading.....	25
2.6 WARP.....	25
2.6.1 WARP Board.....	27
2.6.2 WARPLab.....	31
BAB III PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM .....	33
3.1 Alur Perancangan Sistem .....	33
3.2 Pemodelan Sistem Komunikasi MC DS CDMA.....	35
3.2.1 Pemodelan pada Sisi Transmitter dan Receiver.....	35
3.2.1.1 Serial to Parallel dan Parallel to Serial.....	38

3.2.1.2	Modulasi dan Demodulasi.....	39
3.2.1.3	Spreading dan Despreading.....	39
3.2.1.4	Inverse Fast Fourier Transform (IFFT) dan Fast Fourier Transform (FFT).....	40
3.2.1.5	Pilot dan Preamble.....	40
3.2.1.6	Pulse Shaping dan Matched Filter.....	41
3.2.1.7	Upconvert dan Downconvert.....	43
3.2.1.8	Kanal.....	44
3.3	Implementasi Sistem.....	45
3.3.1	Integrasi PC dengan Modul WARP.....	45
3.3.2	Frame Buffer.....	48
3.3.3	Datasheet WARP.....	50
3.3.3.1	RSSI.....	50
3.3.3.2	Gain Setting.....	52
3.4	Metode Pengukuran.....	53
3.4.1	Metode Pengukuran BER.....	53
3.4.2	Metode Pengukuran Eb/No.....	55
BAB IV HASIL DAN ANALISA .....		57
4.1	Analisa Sistem Komunikasi MC DS CDMA.....	57
4.1.1	Pembangkitan Bit, Serial to Parallel, Spreading IFFT.....	57
4.1.2	Penambahan Pilot dan Preamble.....	59
4.1.3	Deret Pulsa Squared Root Raise Cosine (SRRC).....	59
4.1.4	Sinyal Hasil Upconvert.....	60
4.1.5	Sinyal Pada Penerima dan Proses Downconvert.....	62
4.1.6	Sinyal Setelah Proses Matched Filter.....	65
4.1.7	Sinyal Setelah Proses Downsample.....	66
4.1.8	Estimasi Kanal.....	66
4.1.9	FFT dan Despreading.....	69
4.1.10	Proses Demodulasi dan Bit Estimasi.....	69
4.2	Analisa Hasil Pengukuran di Lingkungan <i>Indoo</i> .....	70
4.2.1	Analisa BER sebagai Representasi Unjuk KerjaSistem dengan mengubah fungsi Jarak.....	70
4.2.2	Analisa BER sebagai Representasi Unjuk Kerja Sistem dengan mengubah level daya pancar .....	75
4.2.3	Analisa BER sebagai Representasi Banyak User yang Mampu Dilayani Secara Simultan.....	77

4.2.4. Analisa Eb/No .....	84
4.2.5 Spektrum MC DS CDMA.....	86
4.2.6 Pengaruh subcarrier dan panjang kode.....	89
BAB V PENUTUP .....	93
5.1 Kesimpulan .....	93
5.2 Saran .....	94
DAFTAR PUSTAKA .....	95
LAMPIRAN.....	97
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	113

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kondisi <i>flip – flop</i> dari <i>stage</i> 3 pada generator PN .....	16
Tabel 3. 1 Desain parameter sitem komunikasi MC DS CDMA .....	33
Tabel 3. 2 Parameter desain <i>Raised Cosine Filter</i> .....	42
Tabel 3. 3 Nilai daya input terhadap RSSI pada LNA low gain .....	51
Tabel 4. 1 BER SC DS CDMA pada jarak 3 m dan 5 m.....	71
Tabel 4. 2 BER MC DS CDMA pada jarak 3 m dan 4,5 m .....	73
Tabel 4. 3 Perbandingan BER MC DS CDMA dan SC DS CDMA dengan kenaikan level <i>gain</i> daya pancar (Tx_Rf) pada jarak 5 meter .....	75
Tabel 4. 4 BER hasil pengukuran 1-60 <i>user</i> SC DS CDMA.....	78
Tabel 4. 5 BER hasil pengukuran 1-60 <i>user</i> MC DS CDMA .....	79
Tabel 4. 6 Eb/No MC DS CDMA 1 <i>user</i> .....	84
Tabel 4. 7 Pembagian kanal WARP.....	87
Tabel 4. 8 BER dengan variasi panjang kode <i>gold</i> .....	90
Tabel 4. 9 BER dengan variasi jumlah <i>subcarrier</i> .....	91

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Metodologi Penelitian .....	4
Gambar 2. 1	Modulator BPSK .....	8
Gambar 2. 2	Demodulator BPSK .....	8
Gambar 2. 3	Model umum sistem DSSS .....	10
Gambar 2. 4	Sinyal Spreading .....	11
Gambar 2. 5	Contoh penggunaan PN <i>code</i> .....	12
Gambar 2. 6	Auto Korelasi .....	14
Gambar 2. 7	Diagram MLS PN Generator.....	15
Gambar 2. 8	Frekuensi OFDM .....	19
Gambar 2. 9	Skema pemancar MC DS CDMA .....	21
Gambar 2. 10	Skema penerima MC DS CDMA .....	21
Gambar 2. 11	<i>Power spectrum</i> dari sinyal yang ditransmisikan .....	22
Gambar 2. 13	Pemodelan kanal AWGN .....	23
Gambar 2. 14	Karakteristik kanal <i>flat fading</i> .....	24
Gambar 2. 15	Karakteristik Kanal <i>Frequency Selective Fading</i> .....	25
Gambar 2. 16	Komponen – komponen utama dari arsitektur WARP ...	26
Gambar 2. 17	Metode Pemrograman WARP .....	27
Gambar 2. 18	Modul WARP .....	29
Gambar 2. 19	Radio board .....	29
Gambar 2. 20	Arsitektur radio board .....	30
Gambar 2. 21	Clock board .....	30
Gambar 2. 22	Arsitektur WARPLab .....	31
Gambar 2. 23	Penggunaan Kerangka Kerja WARPLab .....	31
Gambar 3. 1	Diagram alir perancangan sistem .....	34
Gambar 3. 2	Diagram blok <i>transmitter</i> MC DS CDMA .....	36
Gambar 3. 3	Diagram blok <i>receiver</i> MC DS CDMA.....	37
Gambar 3. 4	Proses <i>serial to parallel</i> .....	38
Gambar 3. 5	Konstelasi BPSK .....	39
Gambar 3. 6	Susunan pilot dalam symbol informasi .....	40
Gambar 3. 7	Susunan <i>preamble</i> .....	41
Gambar 3. 8	Respon filter Square Root Raised Cosine.....	42
Gambar 3. 9	Upconvert.....	44
Gambar 3. 10	Range frekuensi kanal.....	45
Gambar 3. 11	Integrasi antara PC dengan WARP.....	45
Gambar 3. 12	Pengaturan IP pada PC.....	46
Gambar 3. 13	Pengaturan <i>Dipswitch</i> WARP.....	47



Gambar 3. 14 Indikator Keberhasilan Interkoneksi antara PC dengan WARP .....	48
Gambar 3. 15 Desain <i>frame</i> data .....	48
Gambar 3. 16 Grafik RSSI vs Daya Input MAX2829 .....	50
Gambar 3. 17 Tx <i>Output Power</i> vs <i>Gain Setting</i> MAX2829.....	52
Gambar 3. 18 Rx <i>Voltage Gain</i> vs <i>Baseband Gain Setting</i> MAX2829 .....	53
Gambar 3. 19 Kondisi <i>Line of Sight</i> (LOS) .....	54
Gambar 3. 20 Konstelasi Inphase dan Quadrature BPSK .....	55
Gambar 4. 1 Ilustrasi proses seriall to parallel .....	58
Gambar 4. 2 Bit yang dibangkitkan secara acak.....	58
Gambar 4. 3 (a) sebelum penambahan simbol <i>pilot</i> (b) sesudah penambahan simbol <i>pilot</i> (c) simbol dengan penambahan preamble.....	59
Gambar 4. 4 (a) Hasil filter SRRC pada simbol <i>inphase</i> (b) Hasil filter SRRC pada simbol <i>quadrature</i> .....	60
Gambar 4. 5 Sinyal hasil <i>upconvert</i> (a) <i>inphase</i> dan (b) <i>quadrature</i> ..	61
Gambar 4. 6 (a) Spektrum sinyal <i>baseband</i> sebelum di <i>upconvert</i> (b) Spektrum sinyal setelah di <i>upconvert</i> .....	62
Gambar 4. 7 Sinyal yang diterima (a) <i>inphase</i> dan (b) <i>quadrature</i> ...	63
Gambar 4. 8 (a) Spektrum sinyal pada penerima (b) Spektrum sinyal setelah proses <i>downconvert</i> .....	64
Gambar 4. 9 Sinyal hasil proses <i>downconvert</i> (a) <i>inphase</i> dan (b) <i>quadrature</i> .....	64
Gambar 4. 10 Sinyal setelah proses <i>matched filter</i> (a) <i>inphase</i> dan (b) <i>quadrature</i> .....	65
Gambar 4. 11 Pendeteksian simbol <i>preamble</i> .....	66
Gambar 4. 12 (a) Hasil proses <i>downsample</i> untuk simbol <i>real</i> (b) Hasil proses <i>downsample</i> untuk simbol <i>imaginer</i> .....	67
Gambar 4. 13 (a) Simbol estimasi <i>real</i> (b) Simbol estimasi <i>imaginer</i> ..	68
Gambar 4. 14 Perbandingan Simbol <i>Inphase</i> .....	68
Gambar 4. 15 Perbandingan simbol <i>Quadrature</i> .....	69
Gambar 4. 16 Kurva BER SC DS CDMA pada Jarak 3 meter.....	71
Gambar 4. 17 Kurva BER SC DS CDMA pada Jarak 5 meter.....	72
Gambar 4. 18 Kurva BER MC DS CDMA pada Jarak 3m .....	73
Gambar 4. 19 Kurva BER MC DS CDMA pada Jarak 5m .....	74
Gambar 4. 20 Kurva BER SC DS CDMA dan MC DS CDMA variasi TX_Rf pada Jarak 5 m untuk 1 user .....	76
Gambar 4. 21 Kurva BER SC DS CDMA 1-60 user.....	80

Gambar 4. 22 Kurva BER MC DS CDMA 1-60 <i>user</i> .....	81
Gambar 4. 23 Kurva BER SC DS CDMA 1-20 <i>user</i> .....	82
Gambar 4. 24 Kurva BER MC DS CDMA 1-20 <i>user</i> .....	82
Gambar 4. 25 Eb/No MC DS CDMA 1 <i>User</i> .....	84
Gambar 4. 26 Perbandingan Eb/No terhadap BER 1 <i>user</i> dan 5 <i>user</i> ...	85
Gambar 4. 27 Hasil pengukuran spektrum analyzer.....	86
Gambar 4. 28 Ilustrasi kanal dan bandwidth WARP.....	88
Gambar 4. 29 Spektrum MC DS CDMA pada pengirim.....	88
Gambar 4. 30 Spektrum MC DS CDMA pada penerima.....	89
Gambar 4. 31 Kurva BER MC DS CDMA variasi panjang kode.....	90
Gambar 4. 32 Kurva BER MC DS CDMA variasi subcarrier.....	92

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Komunikasi *wireless* menjadi suatu bidang yang sangat penting untuk dikembangkan, dimana beberapa tahun ini dapat kita lihat perkembangannya. Perkembangan yang sangat pesat dari komunikasi video, *voice* dan data melalui internet merupakan hal yang sejalan dengan perkembangan teknologi *mobile telephony*. Berdasarkan pada perkembangan komunikasi multimedia ini, *user* menginginkan sistem komunikasi berkecepatan tinggi ( *high data rate*) dengan QoS (*Quality of Service*) yang memadai serta keamanan atau kerahasiaan informasi yang dikirim dalam teknologi *wireless*.

Maka dari itu digunakanlah teknik MC-DS-CDMA yang menawarkan keunggulan dalam efisiensi penggunaan spectrum frekuensi serta tingkat keamanan informasi yang baik. MC-DS-CDMA menggunakan prinsip kerja *multicarrier* dimana sinyal informasi akan dibawa oleh beberapa gelombang *carrier* secara bersamaan berdasarkan prinsip *orthogonalitas*, sehingga diperbolehkan antar gelombang *carrier* untuk saling *overlap*. Dengan kata lain teknik *multicarrier* ini sejalan dengan konsep efisiensi *bandwidth*. Teknik MC-DS-CDMA ini juga menggunakan prinsip *Direct Sequence* (DS). Salah satu keunggulan *direct sequence* adalah tingkat keamanan informasi yang baik, hal ini dikarenakan pada teknik *direct sequence* dapat mentransformasikan sinyal dengan frekuensi tertentu menjadi suatu sinyal seperti derau yang memiliki lebar pita frekuensi yang lebih lebar dibandingkan dengan sinyal informasi dengan cara dikalikan terhadap kode penebar tertentu yang nantinya akan dikembalikan menjadi sinyal informasi semula menggunakan kode penebar yang sama pada penerima.

MC-DS-CDMA ini akan diimplementasikan pada suatu *platform* yang bernama WARP (*Wireless Access Research Platform*) untuk mengetahui berapa banyak *user* yang dapat dijalankan. WARP adalah *platform* nirkabel *scalable* dan *extensible* yang dapat deprogram sebagai model jaringan nirkabel. WARP sendiri ditemukan oleh Prof. Ashu Sabharwal dari Rice University pada tahun 2006.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang diharapkan untuk ditemukan solusinya melalui tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Seberapa baik kinerja teknik MC DS CDMA dibandingkan dengan SC DS CDMA pada kanal *real*?
2. Berapa banyak *user* pada sistem MC DS CDMA dibandingkan terhadap SC DS CDMA yang dapat dilayani secara simultan oleh BTS pada saat *downlink*?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan perangkat WARP versi 3 dengan WARPlab 7 untuk menganalisa kinerja dari MC DS CDMA.
2. Pemodelan sistem MC DS CDMA menggunakan *software* MATLAB 2010b.
3. Tidak menghitung besarnya *noise* yang timbul pada keluaran sistem.
4. Pengukuran dilakukan di dalam ruangan (*indoor*) .
5. Sistem Komunikasi yang digunakan adalah sistem komunikasi SISO.
6. Hasil implementasi yang diukur adalah nilai BER (*Bit Error Rate*).
7. Menggunakan kode Gold *non orthogonal*.
8. Jumlah  $n=6$ , dimana  $n$  adalah banyaknya *shift register* dalam pembangkitan kode Gold.
9. Teknik Modulasi yang digunakan adalah BPSK.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang diharapkan dengan selesainya tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengevaluasi unjuk kerja dari teknik MC DS CDMA dibandingkan terhadap SC DS CDMA pada kanal *real*.
2. Mengetahui banyaknya user pada MC DS CDMA dibandingkan terhadap SC DS CDMA yang dapat dilayani secara simultan oleh BTS pada saat *downlink*.

## 1.5 Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan untuk pengerjaan tugas akhir ini ditunjukkan pada gambar 1.1 dengan penjabaran sebagai berikut :

### 1. Studi Pustaka

Langkah awal dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah mempelajari tema-tema yang berkaitan, seperti teknik Multi Carrier Direct Sequence Code Division Multiple Access (MC DS CDMA) dan perangkat WARP. Untuk materi yang berkaitan akan dibahas pada tinjauan pustaka.

### 2. Perumusan parameter unjuk kerja dan metode pengukuran

Sebelum proses pengukuran dilakukan, parameter performansi yang menunjukkan kualitas unjuk kerja komunikasi dirumuskan. Parameter yang digunakan sebagai acuan performansi adalah *Bit Error Rate* (BER).

### 3. Simulasi sistem komunikasi

Proses simulasi sistem MC DS CDMA dilakukan menggunakan software MATLAB. Simulasi digunakan untuk menguji sistem yang kita buat sebelum diimplementasikan pada WARP.

### 4. Implementasi pada modul WARP

Dari simulasi yang dirancang menggunakan MATLAB kemudian diimplementasikan pada modul WARP dengan WARPLab7 pada kondisi lingkungan *indoor*.

### 5. Pengukuran pada lingkungan *indoor*

Setelah modul WARP bisa digunakan untuk simulasi dengan kondisi kanal real, maka proses pengukuran dapat dilakukan. Pada tahapan pengukuran ini akan dilakukan pengambilan data untuk berbagai kondisi yaitu perubahan gain dan banyaknya user dalam sistem MC DS CDMA. Tujuan akhirnya adalah untuk mengetahui unjuk kerja sistem MC DS CDMA serta banyaknya user yang dapat dilayani secara simultan dengan cara meninjau BER.

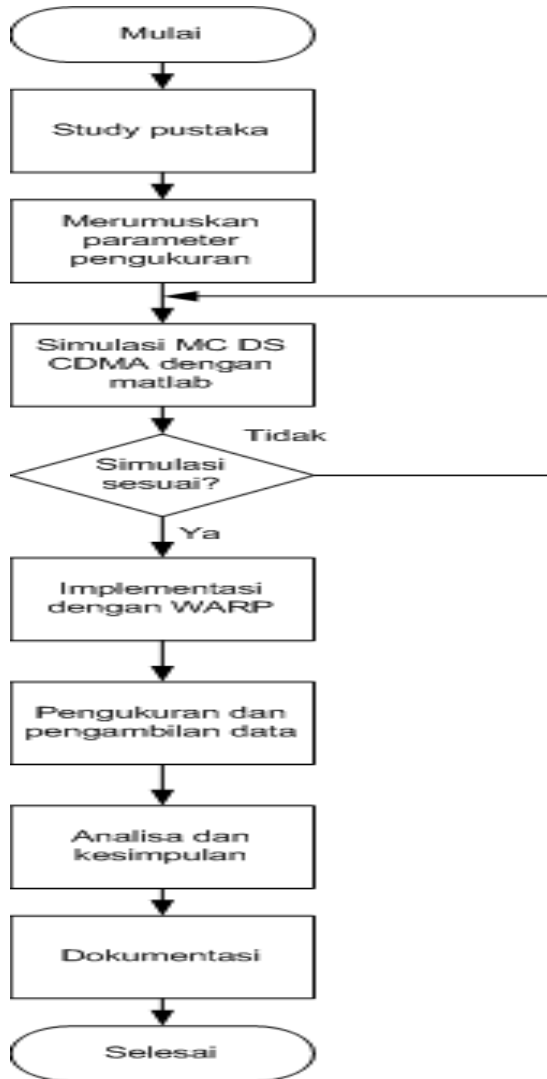
### 6. Proses analisa data dan pengambilan kesimpulan

Pada tahapan ini akan dilakukan analisa dari hasil pengukuran dan dibuat kesimpulan.

### 7. Dokumentasi penelitian

Tahapan akhir ini meliputi pembuatan laporan tugas akhir dan penulisan jurnal ilmiah. Pembuatan laporan tugas akhir untuk beberapa bagian dilakukan bersesuaian dengan pengerjaan

tahapan-tahapan diatas. Sedangkan jurnal ilmiah dilakukan setelah laporan tugas akhir selesai.



**Gambar 1. 1** Metodologi penelitian

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini memberikan gambaran permasalahan yang dihadapi dalam penelitian yang mencakup latar belakang permasalahan, rumusan masalah dan batasan masalah, tujuan penelitian, metodologi dan sistematika penulisan buku tugas akhir ini.

### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi tinjauan pustaka yang akan menunjang dalam pembuatan tugas akhir ini. Tinjauan pustaka yang digunakan meliputi : sistem komunikasi nirkabel, teknik *Multi Carrier Direct Sequence Code Division Multiple Access* (MC DS CDMA), dan *Wireless Open- Access Research Platform* (WARP).

### **BAB 3 PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM**

Bab ini berisi tentang perancangan dan implementasi dari sistem komunikasi SISO menggunakan teknik MC DS CDMA pada WARP. Perancangan sistem dimulai dari pembangkitan bit secara acak, pengolahan data dan proses perhitungan *Bit Error Rate* (BER).

### **BAB 4 HASIL DAN ANALISA**

Bab ini akan membahas tentang hasil yang diperoleh dari implementasi sistem komunikasi SISO menggunakan teknik MC DS CDMA dengan WARP dan menganalisa hasil pengukuran pada lingkungan *indoor*.

### **BAB 5 PENUTUP**

Bab ini berisi kesimpulan hasil yang telah diperoleh serta saran yang nantinya dapat menunjang jika dibuat pengembangan dari tugas akhir ini.



----- Halaman ini sengaja dikosongkan ----

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Modulasi**

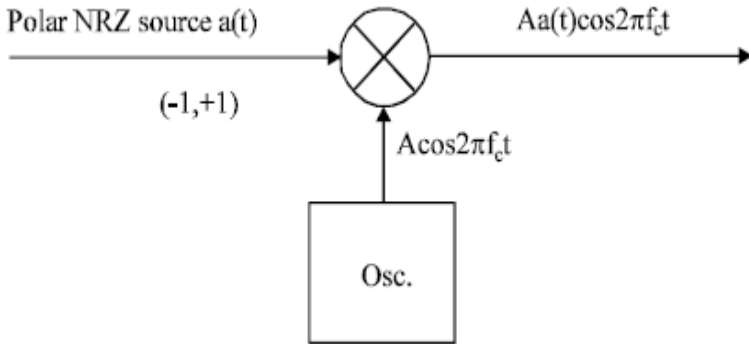
Modulasi merupakan proses mengubah salah satu atau beberapa parameter gelombang pembawa (sinyal *carrier*) seperti amplitudo, *phase* atau frekuensi mengikuti perubahan level tegangan dari sinyal informasi. Modulasi ini dibagi menjadi dua yaitu modulasi analog dan modulasi digital. Perbedaan utama antara modulasi analog dan modulasi digital ini adalah informasi yang ditransmisikan, dimana pada modulasi analog informasi yang ditransmisikan berupa gelombang kontinyu sedangkan pada teknik modulasi digital informasi yang ditransmisikan yaitu simbol – simbol digital (yaitu berupa simbol 1 dan 0 untuk transmisi biner). Teknik modulasi digital ini lebih sering digunakan bila dibandingkan dengan teknik modulasi analog, karena keunggulan yang dimilikinya yaitu lebih tahan terhadap *noise* pada proses pentransmisian.

Modulasi digital merupakan suatu proses dimana simbol – simbol digital diubah menjadi bentuk gelombang yang sesuai dengan karakteristik kanal yang akan dilewati. Modulasi ini berfungsi untuk menyamakan karakteristik sinyal dengan karakteristik kanal yang digunakan, untuk mengurangi *noise* dan interferensi, serta mengatasi keterbatasan peralatan.

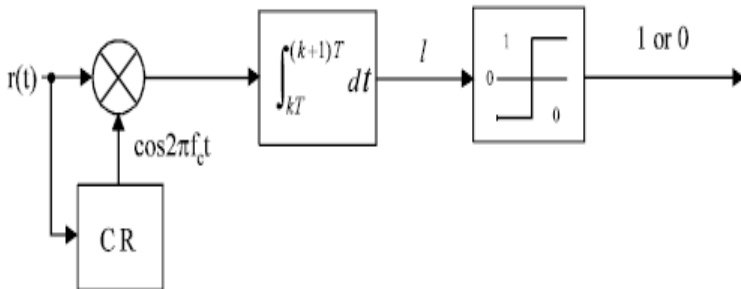
Modulator digital berguna untuk memetakan deretan informasi biner menjadi bentuk sinyal gelombang yang nantinya dikirim melalui kanal. Pada modulasi *binary*, modulator digital secara sederhana memetakan digit biner “0” menjadi sinyal gelombang  $S_0(t)$  dan digit biner “1” menjadi  $S_1(t)$ . Demodulator sinyal yang terdapat pada sisi penerima bertugas memproses sinyal yang telah rusak karena proses di kanal, dengan mempresentasikan menjadi beberapa estimasi simbol data sesuai yang dikirimkan.

##### **2.1.1 Modulasi Binary Phase Shift Keying (BPSK)**

Teknik modulasi BPSK mengubah data biner yang terdiri dari bit „0” dan bit „1” sehingga setelah dimodulasi, masing – masing menjadi dua simbol yang saling antipodal, yaitu simbol „-1” dan „1”. Modulasi BPSK memiliki frekuensi *carrier* yang sama namun terdapat perbedaan fase yaitu sebesar 0 derajat dan 180 derajat. Modulator BPSK dan demodulator BPSK ditunjukkan pada gambar 2.1 dan 2.2.



**Gambar 2. 1** Modulator BPSK [5]



**Gambar 2. 2** De-modulator BPSK [5]

Pada modulator, sinyal yang dibangkitkan dengan bentuk *binary data stream*  $a(t)$   $\{+1, -1\}$  kemudian dikalikan dengan sinyal sinusoidal *carrier*  $A\cos 2\pi f_c t$  sehingga menghasilkan sinyal BPSK. Sinyal output BPSK memiliki fase yang berbeda. Beda fase 0 derajat dan 180 derajat ditunjukkan dengan perubahan puncak dan lembah pada sinyal hasil modulasi BPSK.

Pada demodulator *coherent* BPSK, rangkaian *recovery carrier coherent* akan mendeteksi dan menghasilkan sinyal *carrier* yang terdapat di *transmitter* dan akan mengalikan sinyal *carrier* tersebut dengan sinyal yang menjadi input demodulator. Hasil perkalian tersebut akan masuk blok *balance modulator* yang merupakan *product detector*,

kemudian hasilnya akan dipisahkan menggunakan *detector* LPF sehingga menghasilkan binari 1 atau 0 sesuai dengan data stream yang dikirimkan.

## 2.2 Teknik *Spread Spectrum* (SS)

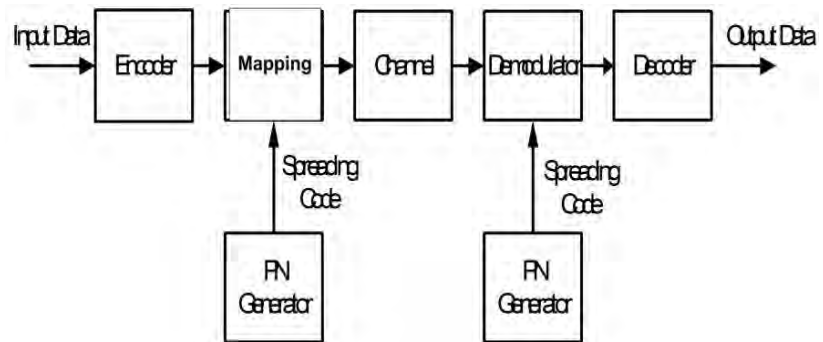
*Spread spectrum* adalah suatu teknik pengiriman sinyal informasi yang menggunakan kode *chip* untuk menebarkan spektrum energi sinyal informasi dalam pita frekuensi yang jauh lebih besar dari spektrum minimal yang dibutuhkan untuk menyalurkan suatu informasi. *Spread spectrum* menggunakan suatu kode *pseudo – noise* yang *independent* terhadap data informasi sehingga sinyal yang ditransmisikan akan memiliki *bandwidth* transmisi yang jauh lebih lebar dibandingkan *bandwidth* sinyal informasi. Proses pelebaran *bandwidth* ini disebut *spreading*.

Suatu sistem didefinisikan sebagai sistem *spread spectrum* jika memenuhi persyaratan berikut:

1. *Spreading* dilakukan dengan suatu model kode sinyal yang memiliki sifat *independent* terhadap data.
2. Sinyal menduduki *bandwidth* yang lebih lebar dibandingkan dengan *bandwidth* minimum yang diperlukan untuk mengirimkan informasi.
3. Pada penerima, sinyal akan di – *dispreading* dengan menggunakan replika (perulangan) dari *pseudo – noise code* yang digunakan pada waktu *spreading* sinyal informasi.

### 2.2.1 Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)

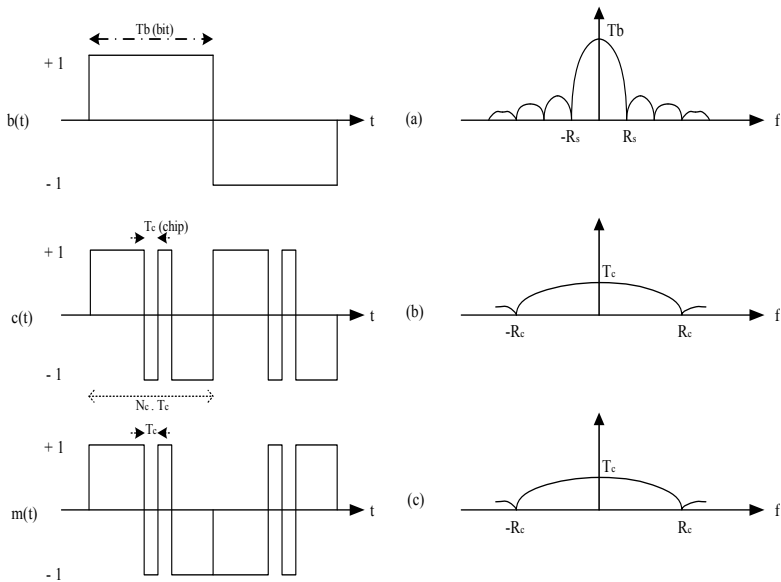
Salah satu teknik sistem komunikasi *spread spectrum* adalah *direct sequence*. *Direct sequence* merupakan teknik *spread spectrum* yang paling luas dikenal dan banyak digunakan, karena sistem ini paling mudah diimplementasikan dan mempunyai data *rate* yang tinggi. *Direct sequence* menggunakan kode unik untuk menebarkan sinyal *baseband* yang akan dimodulasi digital bersama sinyal informasi [2].



**Gambar 2.3** Model umum sistem *DSSS* [2].

Pada gambar 2.4 dapat dilihat bahwa *direct sequence spread spectrum* (DSSS) pada sisi pengirim sinyal informasi dikalikan dengan suatu data rate bit *sequence* yang lebih tinggi, yang dikenal sebagai *chipping code*. Prinsipnya adalah menebarkan sinyal informasi dengan sinyal acak yang dihasilkan oleh *pseudo random*. Sehingga akan menghasilkan sinyal baru dengan lebar periode sinyal yang sama dengan *pseudo noise*. Kemudian sinyal tersebut dimodulasi terlebih dahulu sebelum dipancarkan melalui antena.

Pada proses *spreading* yang terjadi pada sisi pengirim, data biner secara langsung dikalikan dengan PN sequence yang *independent* terhadap data biner. Efek dari perkalian tersebut adalah untuk merubah bandwidth sinyal  $R_b$  menjadi bandwidth baseband  $R_c$ .



**Gambar 2. 4** Sinyal Spreading (a) Data informasi dan *power spectral density*. (b) Data chip(PN-sequence) dan *power spectral density*. (c) Data sinyal spreading dan *power spectral density*[1].

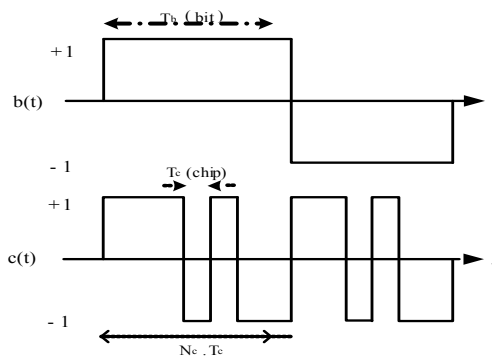
### 2.2.2 Deretan Pseudo – Noise (PN)

Kode PN yang mempunyai satuan chips, merupakan sinyal penobar sinyal informasi dan digunakan untuk membedakan antara pengguna satu dengan yang lainnya. Pada pemancar sistem *spread spectrum*, deretan kode yang dibangkitkan memiliki pola acak yang hanya dikenali oleh bagian penerima tertentu saja. Pola acak yang dibangkitkan tidak benar – benar acak karena deretan tersebut masih periodik. Apabila sinyal tersebut benar – benar acak maka bagian penerima tidak dapat melakukan pembangkitan ulang (prediksi) untuk merecover sinyal informasi yang dikirimkan. Pola acak yang demikian dikenal sebagai semi acak (*pseudo – random*) atau dalam sistem *spread spectrum* lebih dikenal sebagai *pseudo – noise* (PN). Pola acak yang dibangkitkan oleh pemancar sistem SS merupakan deretan biner. Adapun beberapa hal penting mengenai PN adalah:

1. Bukan kode acak tetapi kelihatan seperti acak bagi *user* yang tidak mengetahui kodenya.
2. Bersifat deterministik, yaitu sinyal periodik yang dikenal oleh *transmitter* maupun *receiver*. Semakin panjang periode kode *spreading* PN maka sinyal transmisi semakin menyerupai gelombang biner acak yang sebenarnya dan semakin sulit untuk dideteksi.
3. Memiliki sifat statistik menyerupai *white – noise*.

PN *code* tidak benar-benar bersifat acak, tetapi merupakan sinyal periodik yang diketahui baik oleh sistem pengirim maupun sistem penerima. Ada 3 kriteria dasar yang dapat diterapkan pada setiap sekuensi biner untuk memeriksa keacakan yang dibangkitkan, yaitu :

- a. *Balance property*. Dibutuhkan pada setiap periode sekuensi, dimana perbedaan antara banyaknya jumlah biner 0 dan biner 1 paling banyak adalah satu digit.
- b. *Run property*. Didefinisikan sebagai sekuensi dari satu tipe tunggal dari digit biner. Tampilan digit alternatif dalam satu sekuensi menjalankan *run* yang baru. Panjang suatu *run* adalah jumlah digit pada *run* tersebut.
- c. *Correlation property*. Jika periode sekuensi dibandingkan untuk setiap tingkat, sangat baik bila jumlah yang diterima dibandingkan jumlah yang gagal tidak lebih dari 1.



**Gambar 2. 5** Contoh penggunaan PN *code* dengan Periode  $N = 2^m - 1$  untuk  $m = 3$ .

Pada gambar 2.6 ditunjukkan sinyal asli  $b(t)$  dengan periode  $T_b$  dan sinyal  $c(t)$  dari PN dengan periode  $T_c$  yang diketahui bahwa mempunyai durasi chip yang lebih kecil dari durasi sinyal  $b(t)$ , hal ini menyebabkan spektrum dapat melebar dalam domain frekuensi.

Periode dari *maximum-length sequence* didefinisikan sebagai berikut[4] :

$$N = 2^m - 1 \quad (2.1)$$

Dimana  $m$  merupakan panjang dari *shift register*. Simbol biner 0 dan 1 dari *sequence* akan diubah menjadi level -1 dan +1. Sinyal  $c(t)$  dapat dilihat pada gambar 2.6, terlihat bahwa *maximal-length sequence* dihasilkan untuk  $N = 7$ . Periode dari sinyal  $c(t)$  adalah[4] :

$$T_b = NT_c \quad (2.2)$$

Dimana  $T_c$  adalah durasi ketetapan untuk chip 1 dan 0 pada *maximal-length sequence*. Dapat diartikan bahwa fungsi autokorelasi periode sinyal  $c(t)$  dari periode  $T_b$  adalah sebagai berikut[4] :

$$R_c(\tau) = \frac{1}{T_b} \int_{-T_b/2}^{T_b/2} c(t) c(t - \tau) dt \quad (2.3)$$

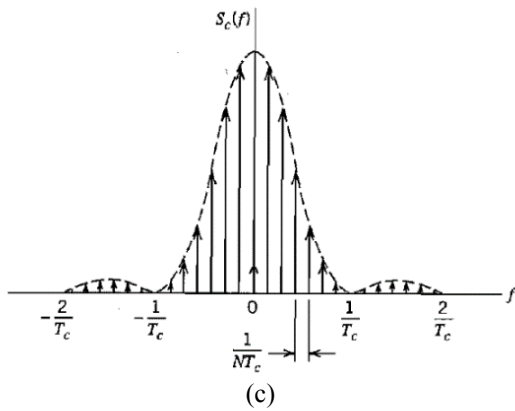
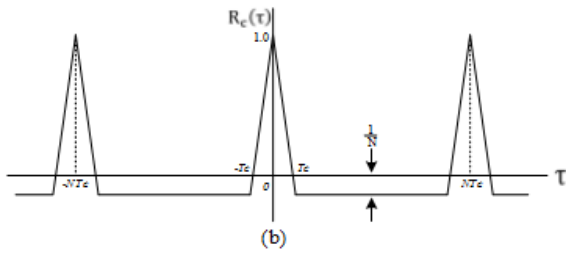
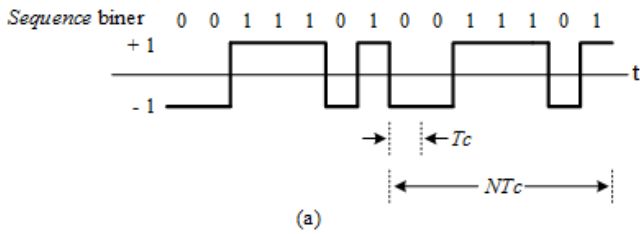
Dimana  $\tau$  pada interval  $(-T_b/2, T_b/2)$ , ditunjukkan pada persamaan 2.4. Dengan syarat *maximal-length sequence* kita dapat memperoleh persamaan  $c(t)$  sebagai berikut [4]:

$$R_c(\tau) = \begin{cases} 1 - \frac{N+1}{NT_c} |\tau|, & |\tau| \leq T_c \\ -\frac{1}{N}, & \text{untuk selisih } 1 \end{cases} \quad (2.4)$$

Dari teori transformasi *fourier* kita tahu bahwa periodisitas pada *domain waktu* akan ditransformasikan kedalam *sampling uniform* di *domain frekuensi*. Sehingga dapat dilihat *power spectral density maximal-length sequence* sinyal  $c(t)$ . Transformasi *fourier* dari persamaan 2.4 kita dapat memperoleh sampel spektrum sebagai berikut [5]:

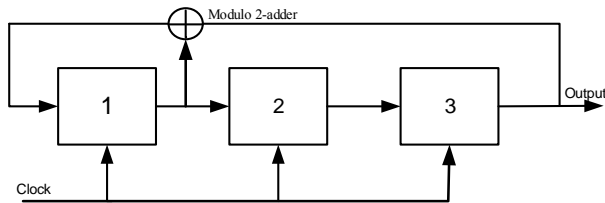


$$S_c(f) = \frac{1}{N^2} \delta(f) + \frac{1+N}{N^2} \sum_{\substack{n=-\infty \\ n \neq 0}}^{\infty} \text{sinc}^2\left(\frac{n}{N}\right) \delta\left(f - \frac{n}{NT_c}\right) \quad (2.5)$$



**Gambar 2. 6** Auto Korelasi (a) Bentuk sinyal dari *maximal-length sequence* untuk  $m = 3$  atau dengan periode  $N = 7$ . (b) Fungsi autokorelasi . (c) *Power spectral density*.

Salah satu cara untuk menghasilkan sinyal PN adalah dengan menggunakan *Maximum Length Sequences* (MLS), yang menggunakan konsep polynomial. Suatu MLS dibentuk dari gabungan *shift register* dan kumpulan sirkuit *logic* pada sistem *feedback*-nya, serta *clock* untuk mengatur periode pembangkitan *chip* pada deretan bit-bit sekuensi [1].



**Gambar 2. 7** Diagram MLS PN Generator [1]

Dari gambar 2.8, *PN sequence* dihasilkan oleh *Pseudo Random Generator* (PRG), yang terdiri dari beberapa bagian. Sebuah *feedback shift register* mempunyai 3 tingkat register untuk menyimpan dan menggeser, sebuah *modulo-2 adder*, dan jalur *feedback* dari *adder* ke input register. Operasi *shift register* dikontrol oleh sekuensi pulsa *clock*. Pada setiap pulsa *clock*, isi dari setiap tingkat bergeser satu tingkat ke kanan. Selanjutnya isi dari tingkat 2 dan 3 ditambahkan dan hasilnya diumpan balik ke 1.

*Shift register* menghasilkan sekuensi yang tergantung pada banyaknya tingkat, hubungan *feedback tap*, dan kondisi inisiasi. Untuk setiap  $N$  tingkat umpan balik linear, sekuensi mengulang pada periode *clock* menurut persamaan 2.1.

Setelah 7 kali *clock* bit maka isi dari bit yang telah digeser dan di XOR akan kembali ke pola awalnya. Untuk memperoleh kode *PN-Sequence* yang digunakan, maka dilakukan pengambilan dan isi dari *shift register* 3 untuk setiap *clock* yang terjadi selama 7 *clock* yang terjadi, maka untuk satu sekuensi bit akan diperoleh :

1 0 0 1 1 1 0

**Tabel 2. 1** Kondisi flip-flop dari stage 3 pada generator PN [1]

Shift	Konten		
	Stage 1	Stage 2	Stage 3
Initial	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
1	1	0	0
2	1	1	0
3	1	1	1
4	0	1	1
5	1	0	1
6	0	1	0
7	0	0	1
8	1	0	0
9	1	1	0
10	1	1	1
11	0	1	1
12	1	0	1
13	0	1	0
14	0	0	1
15	1	0	0
16	1	1	0
17	1	1	1
18	0	1	1
19	1	0	1
20	0	1	0
21	0	0	1
22	1	0	0
23	1	1	0
24	1	1	1
25	0	1	1
26	1	0	1
27	0	1	0
28	0	0	1
29	1	0	0
30	1	1	0

Shift	Konten		
	Stage 1	Stage 2	Stage 3
31	1	1	1
32	0	1	1
33	1	0	1
34	0	1	0
35	0	0	1
36	1	0	0
37	1	1	0
38	1	1	1
39	0	1	1
40	1	0	1
41	0	1	0
42	0	0	1
43	1	0	0
44	1	1	0
45	1	1	1
46	0	1	1
47	1	0	1
48	0	1	0
49	0	0	1
50	1	0	0
51	1	1	0
52	1	1	1
53	0	1	1
54	1	0	1
55	0	1	0
56	0	0	1
57	1	0	0
58	1	1	0
59	1	1	1
60	0	1	1
61	1	0	1
62	0	1	0
63	0	0	1

Penjelasan untuk tabel 2.1 adalah sebagai berikut, stage 1,2 dan 3 merupakan bit-bit initial, keluaran pertama adalah input dari stage 3 kemudian diumpam balikan ke stage 1 dengan di XOR kan stage 2 yang kemudian menjadi input stage 1. Stage 1 bergeser menuju stage 2 dan stage 2 bergeser menuju stage 3. Sistem ini akan berulang dan akan menemukan perulangan yang sama.

Perancangan PN *sequence generator* mengacu pada persamaan di bawah ini yang merupakan persamaan daya spektrum sinyal *spread spectrum* :

$$S_{ss}(t) = \sqrt{\frac{2Eb}{Tb}} b(t)c(t)\cos(2\pi f_c t + \theta) \quad (2.6)$$

Dimana :

$b(t)$  : sekuensi data dengan durasi  $T_b$

$c(t)$  : jumlah chip dengan durasi  $T_c$

$f_c$  : frekuensi sinyal pembawa pada modulasi (Hz)

### 2.2.3 Kode Gold

Sekuen PN dengan korelasi yang lebih baik dibandingkan *m-sequence* disebut juga *sequence Gold*. Satu set sekuen *n Gold* diperoleh dari pasangan tertentu *m-sequence* dengan panjang  $L = 2^{n-1}$  dengan cara mengambil penjumlahan modulo-2 dari *m-sequence* tertentu, kemudian dengan nilai  $n$  berganti melalui pergeseran siklik *m-sequence*. Kode *Gold* memiliki 3 nilai yaitu  $\{-1, -t(m), t(m)-2\}$  dimana,  $L(m) = 2^{(m+1)/2} + 1$  untuk  $m$  ganjil dan  $L(m) = 2^{(m+2)/2} + 1$  untuk  $m$  genap.

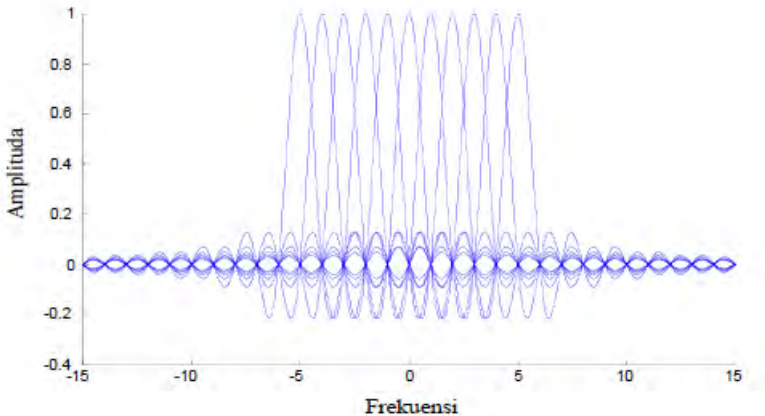
Untuk prinsip kerja kode *Gold* pada dasarnya sama dengan *m sequence*, yang membedakan hanyalah pada deretan kode *Gold* diperoleh dari pasangan dua buah *m sequence* dengan panjang register tertentu. Hasil dari masing – masing *m sequence* akan dilakukan operasi XOR untuk memperoleh deretan kode *Gold*.

### 2.3 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

OFDM merupakan bentuk dari *Multi-Carrier Modulation* (MCM) yang dapat dicapai dengan membagi kanal transmisi tunggal menjadi beberapa *subchannel* atau *subcarrier* yang saling tegak lurus (*orthogonal*) untuk mengoptimalkan efisiensi transmisi data [5]. Secara matematis, keorthogonalan OFDM dapat dijelaskan sebagai berikut. Misalkan fungsi  $X_m(t)$  adalah *subcarrier* ke- $m$  dan  $X_n(t)$  adalah *subcarrier* ke- $n$ . Kedua *subcarrier* ini dikatakan saling *orthogonal* satu sama lain pada *interval*  $a < t < b$  jika memenuhi kondisi [1]:

$$\int_a^b X_m(t) * X_n(t) dt = 0 \quad (2.7)$$

Untuk spektrum frekuensi OFDM diperlihatkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 8 Frekuensi OFDM [1]

#### 2.3.1 Kelebihan dan Kekurangan OFDM

Berdasarkan [2], OFDM memiliki beberapa kelebihan dan kerugian jika dibandingkan dengan sistem modulasi *single carrier*.

1. Kelebihan:
  - a. Tahan terhadap penyebaran *delay* akibat multipath; karena durasi symbol dibuat lebih besar.
  - b. Tahan terhadap kanal *frequency selective fading*; karena kanal *bandwidth* yang tersedia dikonversi menjadi beberapa

*subcarrier* yang sempit. Sehingga bisa diasumsikan *subcarrier* hanya mengalami *flat fading*

- c. Efisien dalam hal modulasi dan demodulasi; Modulasi dan demodulasi setiap *subcarrier* hanya menggunakan metode IFFT dan FFT. Dengan menggunakan metode tersebut membuat efisien penggunaan spectrum dengan cara saling *overlap* antar *subcarrier*.
- d. Transmisi *bit rate* yang tinggi
- e. *Equalizer* yang sederhana; Simbol OFDM lebih besar dari maksimum penyebaran *delay* sehingga menghasilkan kanal *flat fading* yang dapat di *equalizer* dengan mudah
- f. Efisiensi spectral yang besar

2. Kekurangan:

- a. Keakuratan sinkronisasi yang tinggi
- b. *Peak to Average Power Ratio* (PAPR) yang tinggi
- c. Lebih sensitive terhadap *carrier offset* dan *drift* dibandingkan dengan sistem *single carrier*.

## 2.4 Multi Carrier Direct Sequence Code Division Multiple Access (MC DS CDMA)

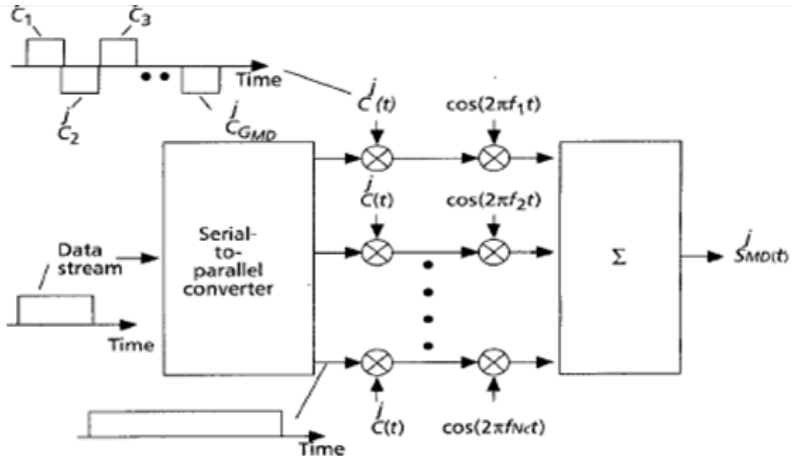
Code Division Multiple Access (CDMA) merupakan salah satu teknologi *multiple access* dimana beberapa *user* dapat mentransmisikan informasi dalam *bandwidth* yang sama secara bersamaan. Tiap *user* menggunakan kode – kode yang saling *orthogonal*.

Sistem MC CDMA merupakan kombinasi dari skema CDMA dan OFDM. Pada sistem MC CDMA data ditransmisikan secara parallel dalam *subcarrier – subcarrier* dengan kode yang saling *orthogonal* seperti pada OFDM.

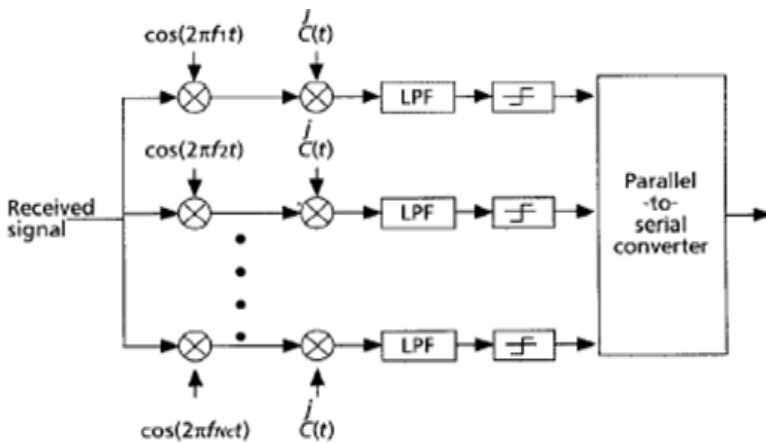
Sistem *Multi Carrier Direct Sequence Code Division Multiple Access* (MC DS CDMA) merupakan kombinasi dari skema *Code Division Multiple Access* (CDMA), *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) dan *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM).

Pada sisi pemancar MC DS CDMA, data dibangkitkan lalu dilakukan proses *serial to parallel* sehingga deretan data terbagi – bagi dalam *subcarrier – subcarrier* dengan ukuran *bit –*

rate yang lebih rendah. Kemudian tiap sinyal dalam *subcarrier* ini akan di-*spreading* dengan *spreading code* sehingga tiap *chip* dalam satu symbol yang sama untuk masing – masing *user* akan menempati *subcarrier* yang sama. Teknik *spreading* ini dinamakan dengan *spreading* domain waktu.

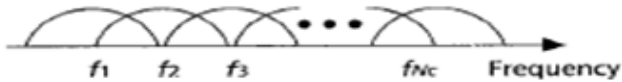


**Gambar 2.9** Skema pemancar MC DS CDMA [10]



**Gambar 2.10** Skema Penerima MC DS CDMA [10]





**Gambar 2.11** *Power spectrum* dari sinyal yang ditransmisikan [10]

## 2.5 Kanal Propagasi

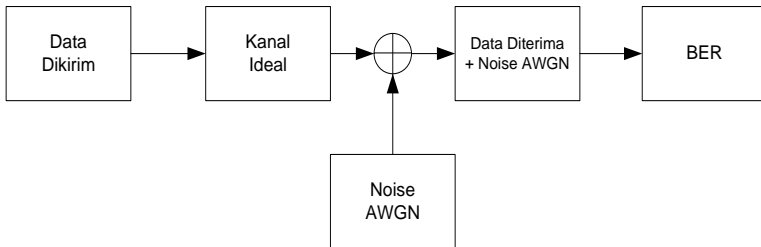
### 2.5.1 Kanal AWGN

Model kanal yang paling dikenal adalah kanal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*), dimana *white noise* adalah *noise* dengan kerapatan spektral daya merata pada semua komponen frekuensi. Kanal AWGN adalah kanal ideal, yang berarti kanal ini tidak menyebabkan distorsi pada sinyal yang dikirim, artinya kanal ideal memiliki *bandwidth* yang tidak terbatas dan respon frekuensinya tetap untuk segala frekuensi. Kanal AWGN didefinisikan mempunyai sifat seperti berikut [2] :

1. Kanal menyediakan transmisi bebas *error* dalam *bandwidth*  $B$ , dengan memberikan penguat untuk menangani rugi-rugi tanrsmisi.
2. Kanal membatasi input dari sumber sebagai sinyal pita terbatas  $x(t)$  dan daya rata-rata  $s$ .
3. Sinyal yang diterima pada tujuan terkontaminasi oleh penjumlahan dengan *white Gaussian noise*  $n(t)$  dengan *bandwidth*  $B$ , dan daya *noise*  $N = \eta B$  dimana  $\eta$  adalah kerapatan spektral daya *noise*.
4. Sinyal daya *noise* bersifat *independent*  
 $r(t) = x(t) + n(t)$  dan  $r^2(t) = x^2(t) + n^2(t) = S + N$

Persamaan diatas dikenal sebagai Hukum Shannon-Hartley. Persamaan ini memberikan batas atas untuk transmisi informasi dalam kanal AWGN pita terbatas, yaitu sebagai berikut :

$$C \leq B \log_2(1 + S/N) \quad (2.8)$$



**Gambar 2.12** Pemodelan Kanal AWGN

### 2.5.2 Kanal Rayleigh Fading

Dalam Komunikasi seluler, pada umumnya sinyal yang sampai ke antena penerima *mobile station* tidak hanya berasal dari sinyal lintasan langsung tetapi juga dari lintasan pantul. Jadi sinyal yang sampai merupakan penjumlahan dari banyak sinyal. Karena panjang dari setiap lintasan tidak sama, maka masing –masing sinyal mengalami *delay* yang berbeda – beda sehingga informasi akan mengalami *delay spread*. Nilai tipikal dari *delay spread* untuk daerah urban berkisar 2 – 5 ms dan dapat menyebabkan *Intersymbol Interference* (ISI).

*Multipath fading* ini dapat pula menyebabkan variasi sinyal terima yang sangat besar karena sinyal – sinyal tersebut dapat saling menguatkan maupun saling melemahkan. Variasi sinyal ini disebut sebagai *Rayleigh Fading*.

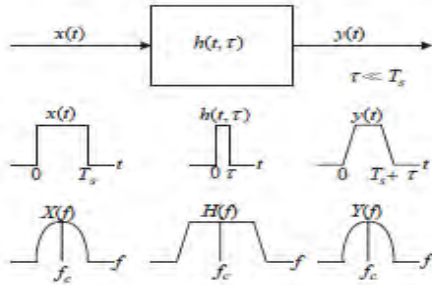
*Fading* skala kecil merupakan perubahan yang sangat cepat dari amplitudo sinyal radio dengan periode waktu atau jarak yang singkat yang menyebabkan bervariasinya level sinyal terima. Secara garis besar, fading skala kecil dikaitkan dengan propagasi multipath, kecepatan bergerak (*mobile speed*), objek sekitar dan *bandwidth* sinyal transmisi [1].

*Fading* skala kecil dibagi menjadi 2 jenis, berdasarkan penyebaran waktu *delay multipath* (*multipath time delay spread*) yang menyebabkan *disperse* waktu dan penyebaran doppler (*doppler speed*) yang menyebabkan dispersi frekuensi. Yang akan dibahas pada laporan tugas akhir ini bagian ini yaitu fading akibat *disperse* waktu yaitu *flat fading* dan *frequency selective fading*.

### 2.5.2.1 Flat Fading

Jika kanal radio memiliki respon gain yang konstan dan fasa yang linear dengan *bandwidth* yang lebih besar dibandingkan dengan *bandwidth* sinyal transmisi maka sinyal terima akan mengalami *flat fading* [23]. Pada *flat fading*, yang tetap dijaga yaitu respon amplitudo yang konstan dan respon fasa yang linear [1]. Namun bagaimanapun juga, kekuatan sinyal yang diterima berubah sepanjang waktu, yang disebabkan fluktuasi pada gain kanal akibat *multipath* [23]. Karakteristik dari kanal *flat fading* diperlihatkan pada Gambar 2.14.

Pada Gambar 2.14 dapat dilihat bahwa jika *gain* kanal berubah sepanjang waktu, perubahan amplitudo terjadi pada sinyal terima. Dalam domain waktu, sinyal terima  $y(t)$  memiliki variasi *gain* tetapi spectrum transmisi tetap dijaga [23].



**Gambar 2. 13** Karakteristik Kanal *Flat Fading* [1]

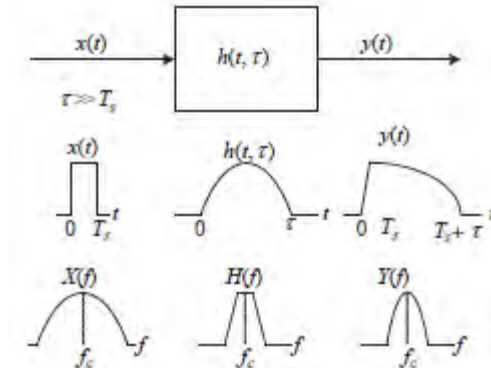
*Bandwidth* yang sempit menyebabkan periode symbol  $T_s$  lebih besar dibandingkan penyebaran *delay*  $\tau$  dari kanal *multipath*  $h(t, \tau)$ . Sepanjang  $T_s$  lebih besar dibandingkan  $\tau$ , symbol pertama tidak berpengaruh terhadap symbol kedua sehingga *Inter-Symbol Interference* (ISI) tidak terlalu signifikan. Secara garis besar, sinyal transmit akan mengalami *flat fading* jika memenuhi syarat [1]:

$$B_s \ll B_c \text{ dan } T_s \gg \sigma_\tau \quad (2.9)$$

Dimana  $B_s$  dan  $T_s$  merupakan *bandwidth* dan periode symbol dari sinyal transmit, sedangkan  $B_c$  dan  $\sigma_\tau$  merupakan *bandwidth* koheren dan penyebaran *delay* RMS

### 2.5.2.2 Frequency Selective Fading

Jika kanal memiliki respon gain konstan dan fasa linear dengan *bandwidth* yang lebih kecil jika dibandingkan dengan *bandwidth* sinyal transmisi maka kanal menyebabkan *frequency selective fading* pada sinyal yang diterima. Asal kata dari kanal *frequency selective fading* karena amplitude dari respon frekuensi bervariasi berbeda dengan kanal *flat fading* [1]. Karakteristik dari kanal *frequency selective fading* diperlihatkan pada Gambar 2.15.



**Gambar 2. 14** Karakteristik Kanal *Frequency Selective Fading* [1]

Berdasarkan gambar diatas dapat disimpulkan bahwa telah terjadi ISI dalam domain waktu karena penyebaran *delay* kanal  $\tau$  lebih besar dibandingkan dengan periode symbol. Hal inilah yang menyebabkan *bandwidth* sinyal  $B_s$  lebih besar dibandingkan dengan *bandwidth* koheren  $B_c$  dan membuat sinyal terima memiliki perbedaan amplitude dalam respon frekuensi [1]. Secara garis besar, sinyal transmit akan mengalami *frequency selective fading* jika memenuhi syarat [23]:

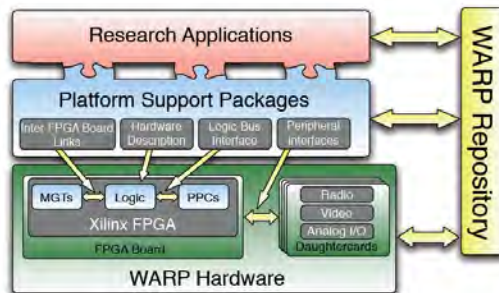
$$B_s > B_c \text{ dan } T_s < \sigma_\tau \quad (2.10)$$

## 2.6 WARP

*Wireless Open-Access Research Platform* (WARP) merupakan salah satu perangkat radio yang bisa diprogram untuk membuat *prototype* jaringan *wireless* dari yang dasar hingga yang cukup

kompleks. WARP menggabungkan perangkat dengan kemampuan tinggi yang bisa diprogram dengan *repository open-source* [2].

Pada awalnya, proyek WARP dipelopori oleh prof. Ashu Sabharwal pada tahun 2006 di universitas Rice, Amerika. Sebelumnya, proyek ini didanai oleh *National Science Foundation* dengan bantuan langsung dari *Xilinx*. Arsitektur dari platform WARP didesain untuk memenuhi permintaan dari penelitian *high-performance* sistem *wireless*. Arsitektur platform WARP dengan 4 komponen utama ditunjukkan pada gambar 2.16.

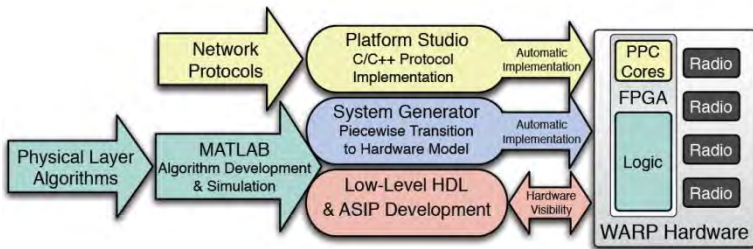


**Gambar 2. 15** Komponen – komponen utama dari arsitektur WARP [6]

1. *Custom Hardware*: desain *Custom hardware* disesuaikan untuk kebutuhan komunikasi *wireless* dengan kinerja yang tinggi. *Hardware* menyediakan sumber daya tinggi yang mampu diimplementasikan pada kecepatan algoritma, dapat terukur interkoneksinya untuk mengalokasikan lebih banyak kekuatan pemrosesan yang diperlukan, dan pilihan periferal yang diperluas untuk radio, prosesor khusus dan antarmuka ekspansi lainnya.
2. *Platform Support Packages*: perangkat-perangkat dan modul *interface* level rendah (*low-level*) yang didesain untuk memungkinkan penggunaan perangkat oleh para peneliti pada semua lapisan (*layer*) dari desain jaringan *wireless*.
3. *Open-Access Repository*: Penyimpanan untuk semua file-file *source-code*, model dan desain *hardware*. Semua konten tersebut akan tersedia di bawah lisensi BSD.
4. *Research Application*: Implementasi dari algoritma-algoritma, dengan *custom hardware* dan paket pendukung platform. Sistem secara keseluruhan yang menggabungkan antara algoritma-

algoritma dapat dengan cepat dibangun menggunakan standard modul yang disediakan dalam repository.

Dalam proses desain, setidaknya terdapat dua metode yang bisa digunakan untuk meneliti desain *physical layer*. Metode pertama dengan menggunakan sistem *non-real-time* yaitu dengan WARPLab. Sistem ini menggunakan kondisi kanal *real-time*, namun dengan pemrosesan data secara *offline* melalui MATLAB. Metode kedua adalah dengan membangun sistem *real-time* yang diinginkan untuk diimplementasikan pada FPGA (*Field Programmable Gate Array*). Sistem tersebut bisa dibangun secara *independen* pada *node* WARP. Hal ini dilakukan dengan menggunakan *System Generator*.



**Gambar 2. 16** Metode Pemrograman WARP [6]

Gambar 2.17 menunjukkan bagaimana para peneliti merancang berbagai lapisan dari jaringan nirkabel *custom* saat menggunakan alat *platform interface* untuk mengintegrasikan implementasi lapisan yang berbeda. Tidak hanya terpaku pada jaringan yang terdiri dari beberapa *layer*, setiap *layer* dapat juga terintegrasi dengan yang lain untuk memungkinkan optimasi *cross-layer*. Seperti *cross-layer* desain hanya dimungkinkan karena sifat benar-benar *open-access* dari *repository WARP*, yang memungkinkan desainer untuk beradaptasi pada setiap desain lapisan untuk menyesuaikan tujuan mereka.

### 2.6.1 WARP Board

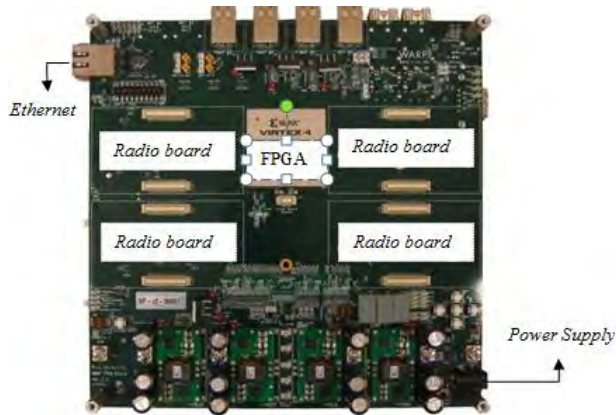
Pada sistem komunikasi, proses implementasi WARP dilakukan pada modul WARP sebagai FPGA dan modul radio sebagai antarmuka antara sistem komunikasi dengan pengolahan sinyal digital.

Dalam proses pengiriman dan penerimaan sinyal informasi, pengolahan digital dilakukan dengan menggunakan FPGA dan dengan *radio board*. Pada masing-masing radio board, akan terdapat dua *buffer* yaitu *In-phase* dan *Quadrature*. Proses pengiriman sinyal dari WARPLab misalnya, akan menggunakan sinyal kompleks. Komponen utama dari *node* WARP yaitu :

**a. FPGA board**

FPGA board merupakan inti dari proses SDR. FPGA pada WARP merupakan prosesor utama karena memberikan pengolahan sumber daya yang luar biasa, blok *programmable logic* didalamnya dapat saling dihubungkan sehingga dapat membentuk unit fungsional yang kompleks. FPGA juga sangat cocok untuk operasi *DSP-intensif*, terutama dalam aplikasi dimana algoritma dapat diparalelkan. Misalnya, pengolahan *front-end* untuk aplikasi nirkabel yang membutuhkan operasi *throughput* yang tinggi seperti filter dan korrelator yang direplikasi untuk setiap antarmuka nirkabel. Implementasi dari operasi ini dapat memanfaatkan struktur paralel pada perangkat keras untuk meningkatkan kinerja. Selanjutnya, setiap *instance* dari unit fungsional beroperasi secara paralel dengan semuanya. *Multi-level paralelisme* merupakan cara utama FPGA memberikan kinerja yang jauh di luar kemampuan bahkan untuk DSP yang paling kuat.

FPGA sendiri menyediakan kekuatan pemrosesan yang besar, koneksi untuk perangkat lain dan board yang memungkinkan berbagai aplikasi. Board FPGA menyediakan antarmuka Ethernet 10/100 untuk koneksi ke jaringan kabel standar. Koneksi ini memungkinkan komunikasi *real-time* antara *node* jaringan kabel yang ada dengan *node* jaringan nirkabel kustom yang diimplementasikan pada WARP. Selain itu, board FPGA memiliki empat slot *daughtercard*, yang masing-masing kabel merupakan pin khusus I/O. Slot cukup fleksibel untuk mendukung berbagai macam desain periferifal di masa depan, termasuk antarmuka multimedia dan prosesor tambahan khusus. Empat slot secara fungsional identik, yang memungkinkan pengguna untuk *me-mount* kartu periferifal yang paling sesuai dengan aplikasi mereka. Antarmuka slot didokumentasikan dalam repositori, yang memungkinkan pengguna untuk merancang *daughtercards custom*.



**Gambar 2.17** Modul WARP

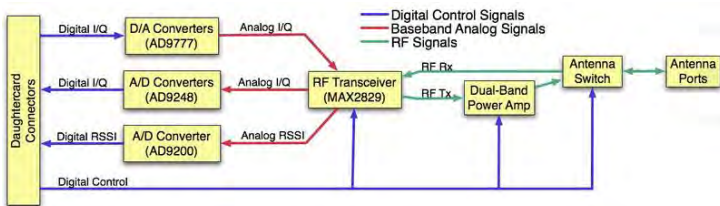
#### ***b. Radio board***

Radio *board* merupakan interface dari domain digital ke domain analog. Pada proses konversi dari digital ke analog dan sebaliknya, radio *board* menggunakan A/D (*Analog-to-Digital*) dan D/A (*Digital-to-Analog*) converter. Radio *board* juga melakukan proses modulasi dan demodulasi *baseband*. Radio *board* pada WARP didesain menggunakan IC Maxim MAX2829. *Single-chip* MAX2829 merupakan IC RF *transceiver* yang didesain khusus untuk aplikasi OFDM 802.11 WLAN yang dapat bekerja pada frekuensi RF 2.4 GHz sampai 2.5GHz dan 4.9GHz sampai 5.875 GHz. Bentuk fisik dari radio *board* ditunjukkan pada gambar 2.19 dan arsitektur dari radio board WARP ditunjukkan pada gambar 2.20.





**Gambar 2. 18** Radio board [7]



**Gambar 2. 19** Arsitektur radio board [7]

Ketika radio board bekerja menjadi *transmitter*, sinyal digital sinyal digital dari modul WARP akan diubah menjadi analog melalui AD9777 kemudian dipancarkan menggunakan MAX2829. Ketika modul berkerja sebagai *receiver*, akan terdapat dua sinyal analog yang diproses oleh WARP. Sinyal pertama adalah sinyal informasi I/Q dan kedua adalah sinyal RSSI (*Receive Signal Strength Indicator*).

### c. *Clock Board*

*Clock board* digunakan sebagai *logic clock* ADC/DAC dan sebagai sumber radio *clock* untuk *upconversion/ downconversion* pada radio board. Clock board menghasilkan *logic clock* pada frekuensi 40 MHz sedangkan radio *clock* dihasilkan frekuensi 20 MHz. *Clock board* secara fisik ditunjukkan pada gambar 2.21.

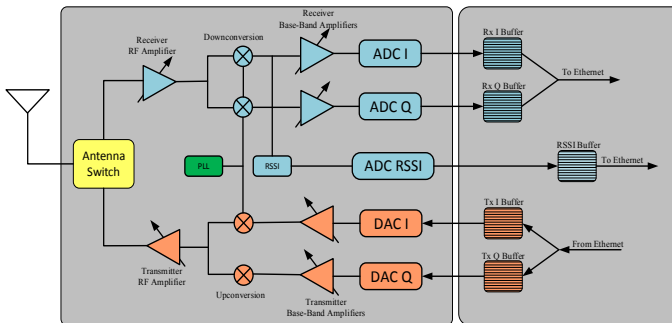


**Gambar 2.20** Clock board [7]

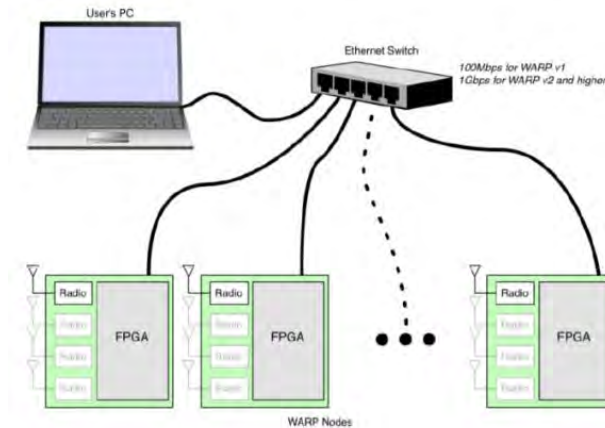
### 2.6.2 WARPLab

WARPLab merupakan sebuah kerangka kerja yang merupakan digunakan untuk desain purwarupa *physical layer*. Penggunaan dari WARPLab memungkinkan kombinasi dari beberapa sistem multi-antena pada pemancar dan penerima. Kerangka kerja yang digunakan memiliki fleksibilitas untuk pengembangan sistem dengan banyak *node*. Logika dari kerangka kerja WARPLab ditunjukkan pada gambar 2.19.

Masing-masing *node* yang diprogram melalui WARPLab terhubung dengan komputer melalui *switch ethernet*. Dengan menggunakan sistem ini, *node* dapat diprogram untuk mengirim data dan menerima data melalui MATLAB.



**Gambar 2. 21** Arsitektur WARPLab [6]



**Gambar 2. 22** Penggunaan Kerangka Kerja WARPLab [2]

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

### **BAB III**

#### **PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM**

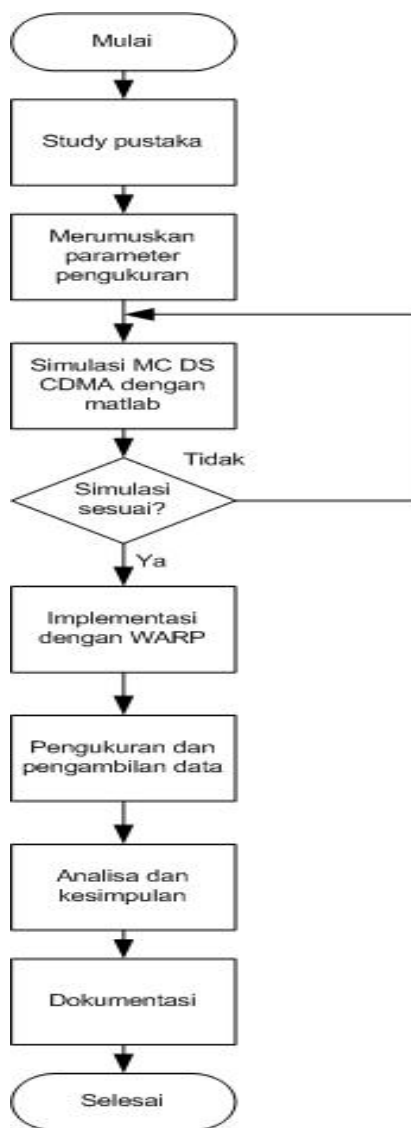
Pada bab ini akan membahas tentang proses perancangan dan implementasi sistem MC DS CDMA menggunakan perangkat WARP. Untuk memudahkan proses perancangan dan implementasi sistem diperlukan alur yang menjelaskan garis besar proses yang dilakukan pada saat melaksanakan tugas akhir.

#### **3.1 Alur Perancangan Sistem**

Bagian ini merupakan bagian awal dari sistem yang dirancang, maka dari itu perlu dilakukan tahapan seperti perencanaan dan implementasi sistem. Perencanaan dibuat untuk memudahkan pengerjaan dari implementasi sistem yang akan dirancang, sehingga analisa terhadap implementasi dapat dipahami. Maka dari itu dibuatlah sebuah diagram alir seperti pada gambar 3.1. Adapun beberapa parameter dalam perancangan dan implementasi MC DS CDMA dinyatakan dalam tabel 3.1.

**Tabel 3. 1** Desain parameter sistem komunikasi MC DS CDMA

<b>Parameter</b>	<b>Keterangan</b>
Bit Informasi	10000
Modulasi	BPSK
Kanal	<i>Wireless</i>
Lokasi Pengukuran	<i>Indoor</i>
<i>PN sequence</i>	<i>Gold</i>
<i>Frekuensi Carrier WARP</i>	<i>2,447 GHz</i>
<i>Symbol rate</i>	<i><math>4 \times 10^6</math> Symbol/s</i>
<i>Chip rate</i>	<i><math>252 \times 10^6</math> Chip/s</i>
<i>Panjang Kode Gold</i>	<i>63</i>
<i>Jumlah Subcarrier</i>	<i>10</i>



**Gambar 3. 1** Diagram alir perancangan sistem

### 3.2 Pemodelan sistem komunikasi MC DS CDMA

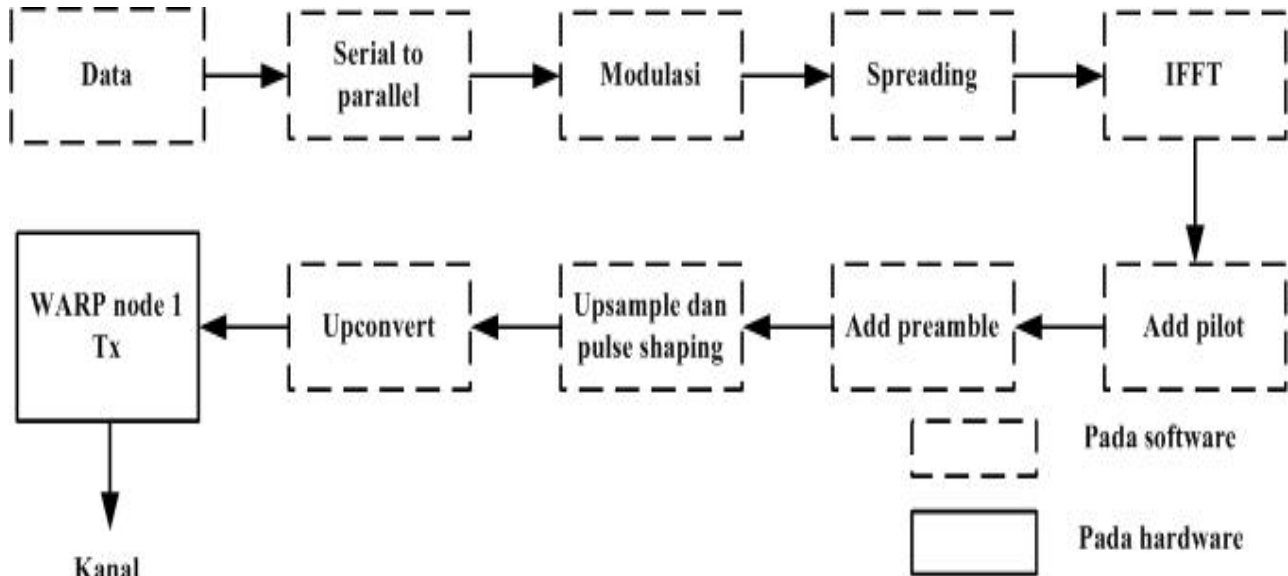
Pada bagian ini akan dilakukan proses pemodelan sistem komunikasi MC DS CDMA. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan matlab. Adapun tahapan- tahapan pemodelan sistem komunikasi MC DS CDMA sebagai berikut :

1. Pemodelan pada sisi *transmitter*
2. Pemodelan pada sisi *receiver*
3. Integrasi PC dengan modul WARP
4. Perancangan frame buffer

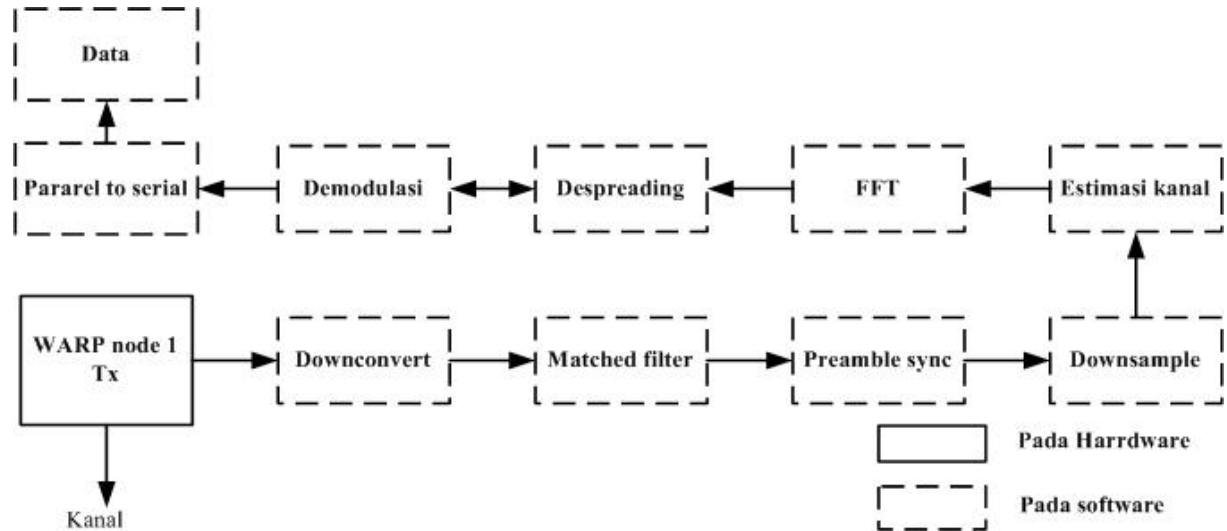
Setelah pemodelan sistem pada matlab selesai maka akan dilakukan simulasi pada matlab sebelum nantinya dilakukan pemrograman kembali untuk pengimplementasian sistem komunikasi MC DS CDMA pada perangkat WARP melalui pemrograman WARPlab. Simulasi hasil pemodelan sistem pada matlab bertujuan untuk melihat performa sistem komunikasi MC DS CDMA dengan kondisi ideal. Apabila hasil simulasi sesuai dengan teori yang ada, maka selanjutnya akan dilakukan proses pengimplementasian sistem MC DS CDMA pada perangkat WARP. Apabila hasil simulasi tidak sesuai dengan teori, maka akan dilakukan pemrograman pemodelan sistem kembali. Untuk penjelasan mengenai tahapan – tahapan tersebut akan dijelaskan dalam sub bab selanjutnya.

#### 3.2.1 Pemodelan pada sisi *transmitter* dan *receiver*

Pada tahapan ini akan dilakukan pemodelan sistem komunikasi MC DS CDMA pada sisi *transmitter*. Pemodelan pada sisi transmitter disusun atas blok – blok diagram yang menunjukkan tahapan – tahapan sistem komunikasi MC DS CDMA . Tahapan tersebut dimulai dari proses pengiriman data, proses *serial to parallel*, proses modulasi, proses *spreading*, sampai dengan proses *upconvert* sebelum akhirnya data memasuki sisi pengirim dari perangkat WARP. Proses pada sisi *software* ditunjukkan oleh diagram blok dengan garis putus – putus dan proses data ketika memasuki *hardware* ditunjukkan pada diagram blok dengan garis penuh.



**Gambar 3.2** Diagram blok *transmitter* MC DS CDMA

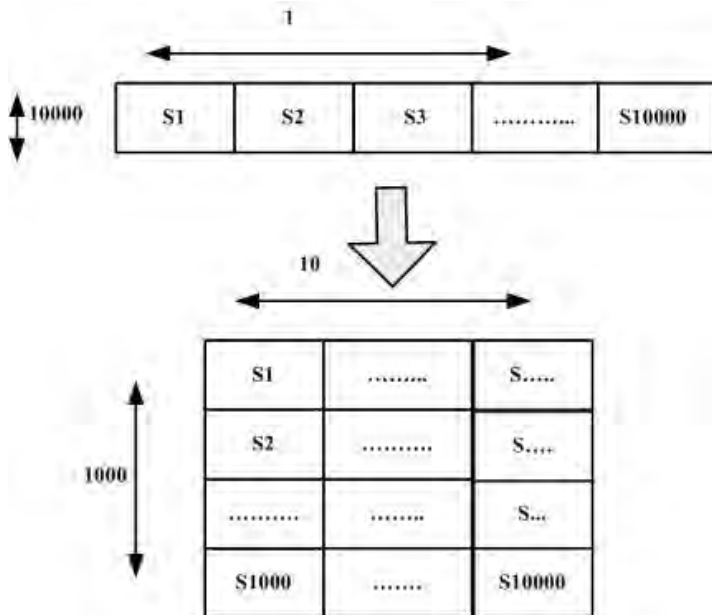


**Gambar 3.3** Diagram blok *receiver* MC DS CDMA



### 3.2.1.1 *Serial to parallel dan parallel to serial*

Setelah deretan bit data input „0“ dan „1“ dibangkitkan secara random, maka tahapan selanjutnya adalah proses *serial to parallel*. Proses ini merubah ukuran matriks bit data yang dibangkitkan ke dalam ukuran matriks dengan baris dan kolom tertentu. Proses pengubahan dari bentuk *serial* menjadi *parallel* diperlihatkan pada Gambar 3.8. Pada gambar tersebut ukuran bit data dengan matriks 1x10000 setelah melalui proses *serial to parallel* ukurannya berubah menjadi 10x 1000.

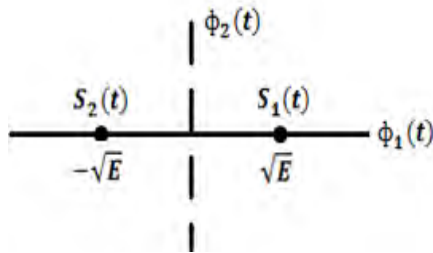


**Gambar 3.4** Proses *serial to parallel*.

Sedangkan untuk proses *parallel to serial* terjadi pada saat data informasi berada pada blok *receiver*. Ukuran matriks data 10x1000 dirubah kembali menjadi 1x 10000 agar diperoleh ukuran data awal.

### 3.2.1.2 Modulasi dan demodulasi

Setelah melalui proses *serial to parallel*, bit input data yang berupa matriks 10x1000 akan dipetakan isinya ke dalam bit „1” dan „-1”. Proses pemetaan ini dinamakan proses modulasi. Modulasi yang digunakan adalah modulasi *Binary Phase Shift Keying* (BPSK). Pada modulasi ini bit data yang bernilai „0” akan diubah menjadi „1” dan bit data yang bernilai 1 akan diubah menjadi „-1”. Pada diagram konstelasi BPSK, terdapat dua titik yang mewakili digit biner 1 dan 0. Untuk biner 1 mempunyai sudut phase  $0^0$ , sedangkan biner 0 mempunyai sudut phase  $180^0$ . diagram konstelasi dari BPSK ditunjukkan gambar 3.4.



**Gambar 3.5** Konstelasi BPSK.

Pada sisi penerima akan dilakukan proses demodulasi untuk memperoleh deretan bit data awal „0” dan „1”.

### 3.2.1.3 Spreading dan despreading

*Spreading* adalah proses dimana data hasil modulasi BPSK yang sudah dibahas sebelumnya, dikalikan dengan *Pseudo Noise* (PN) *sequence* tertentu. PN *sequence* merupakan deretan bit - bit acak tertentu yang dibangkitkan oleh PN *generator*. Sebenarnya PN *sequence* ini tidak benar – benar bersifat acak, namun masih dapat dideteksi polanya jika penerima mengetahui jenis PN *sequence* apa yang digunakan oleh pengirim. Fungsi data hasil modulasi dikalikan dengan PN *sequence* atau PN *code* tertentu adalah untuk meningkatkan keamanan data selama perjalanan data menuju penerima. Dengan adanya PN *code*, *spectrum* dan *bandwidth* data informasi akan melebar tidak beraturan menyerupai sinyal *noise* yang bersifat acak. Dengan demikian sinyal informasi akan

susah untuk disadap atau dilakukan gangguan maupun *jamming* oleh orang lain.

Pada tugas akhir ini digunakan kode *Gold* sebagai *PN code* yang dipilih. Pada kode ini panjang *sequence* yang dihasilkan sepanjang 63 deret. Masing – masing deret inilah yang akan dikalikan dengan sinyal informasi dari tiap – tiap *user* yang berbeda. Dengan penggunaan *sequence* yang berbeda untuk tiap *user*, maka di penerima mudah untuk mendeteksi informasi dari tiap *user* dengan cara mengalikan kembali dengan *sequence code* masing – masing yang disebut sebagai proses *despreading*.

### 3.2.1.4 *Inverse Fast Fourier Transform (IFFT) dan Fast Fourier Transform (FFT)*

Blok IFFT berfungsi untuk membangkitkan frekuensi *carrier* yang saling orthogonal satu sama lain. Jumlah titik IFFT pada implementasi bernilai  $2^n$ , dengan  $n$  adalah bilangan bulat positif. Titik IFFT bisa diset sesuai dengan jumlah *subcarrier* yang digunakan atau lebih besar. Dalam tugas akhir ini digunakan titik IFFT sebanyak 16 titik dengan 10 *carrier*. Hasil dari IFFT adalah matriks dengan ukuran  $16 \times 63000$ . Sementara blok FFT berfungsi sebagai osilator lokal pada penerima yang akan memisahkan antara frekuensi *carrier* dengan symbol-simbol OFDM yang berbeda pada frekuensi tersebut. Jumlah titik FFT sama seperti jumlah titik IFFT.

### 3.2.1.5 *Pilot dan preamble*

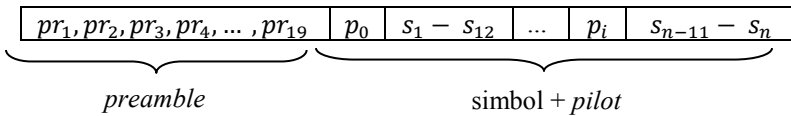
Untuk memperoleh symbol estimasi pada penerima, digunakan respon impuls kanal *wireless*. Estimasi respon impuls kanal diperoleh dari *pilot sequence* yang disisipkan secara periodik pada pemancar. Sistem komunikasi MC DS CDMA menggunakan simbol *pilot* dengan nilai 1. Satu simbol *pilot* disisipkan untuk mengestimasi  $n$  simbol informasi. Desain penyusunan *pilot* dapat dilihat pada gambar 3.6.

$p_0$	$s_1$ – $s_{12}$	$p_1$	$s_{13}$ – $s_{24}$	.....	$p_i$	$s_{n-11}$ – $s_n$
-------	---------------------	-------	------------------------	-------	-------	--------------------

**Gambar 3.6** Susunan pilot dalam symbol informasi

Dari gambar tersebut dapat dilihat simbol *pilot* disisipkan setiap 12 simbol secara periodik.

Deretan simbol – simbol yang telah disisipi dengan simbol *pilot*, kemudian ditambah dengan *preamble*. *Preamble* merupakan deretan simbol yang digunakan sebagai sinkronisasi untuk mengetahui simbol pertama yang dikirimkan oleh *transmitter* pada bagian penerima. Penambahan simbol *preamble* ditunjukkan dalam gambar 3.7 sebagai berikut.



**Gambar 3.7** Susunan *preamble*

Panjang *preamble* yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah 19 buah dengan persamaan 3.1 berikut.

$$[1+1i; 1+1i; 1+1i; 0; 0; 0; -1-1i; -1-1i; -1-1i; 0; 1+0i; 1+0i; 1+0i; 0; 0; 0; 0] \quad (3.1)$$

Baik *preamble* maupun *pilot*, akan dihilangkan saat data mencapai *receiver*.

### 3.2.1.6 *Pulse shaping dan matched filter*

Mengirim sinyal pada frekuensi yang tinggi melalui kanal *bandlimited* dapat menimbulkan *inter symbol interferensi* (ISI). Ketika menaikkan tingkat modulasi maka hal yang terjadi ialah *bandwidth* sinyal juga meningkat, dan ketika *bandwidth* sinyal lebih besar dari *bandwidth* kanal hal ini dapat mendistorsi kanal. Distorsi inilah yang disebut dengan *inter symbol interferensi* (ISI). Salah satu teknik yang digunakan untuk mengantisipasi hal ini adalah dengan filter *pulse shaping*. Proses *pulse shaping* dan upsampling ini dilakukan dengan melewati pada filter *Square Root Raised Cosine* (SRRC) dengan parameter filter sebagai berikut.

**Tabel 3. 2** Parameter desain *raised cosine filter*

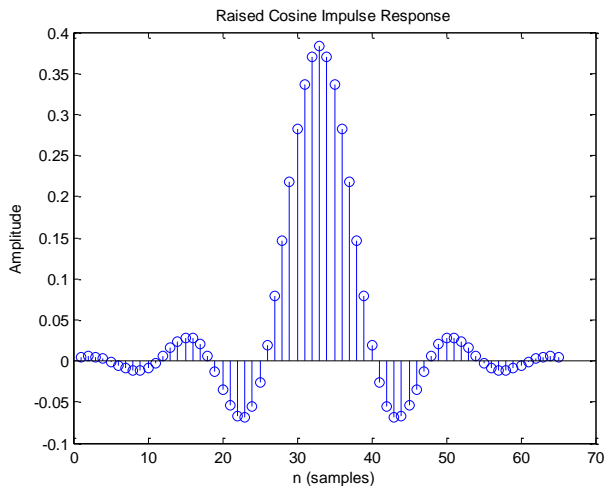
Parameter	Nilai	Keterangan
Nsamp	8	<i>Sample/symbol</i>
Filt_order	6	<i>Filter Orde</i>
Roll_off	0,9	<i>Rolloff factor filter</i>
RS	5e6	<i>Rate Symbol</i>

Maka bandwidth dari filter adalah

$$BW = \frac{1}{2} R_s (1 + \beta) \quad (3.2)$$

$$BW = \frac{1}{2} \cdot 5 \times 10^6 (1 + 0.9) = 4,75 \text{ MHz}$$

Dengan adanya filter *Square Root Raised Cosine* (SRRC), diharapkan saat implementasi pada WARP dan pada saat pengiriman informasi melalui kanal real tidak terjadi ISI yang terlalu besar. Filter *raised cosine* pada pengirim dikombinasikan dengan *matched-filter* disisi penerima untuk mencapai toleransi optimal terhadap *noise* pada sistem ini. Adapun respon filter *Square Root Raised Cosine* (SRRC) ditunjukkan dalam gambar 3.8.



**Gambar 3.8** Respon Filter *Square Root Raised Cosine* (SRRC)

### 3.2.1.7 Upconvert dan downconvert

*Upconvert* pada perancangan ini dilakukan pada sinyal *baseband* dengan cara menggeser frekuensi dari 0 ke 5 MHz yang mempunyai tujuan untuk menghindari redaman DC pada radio. Sinyal yang dilewatkan filter *raised-cosine* akan dilewatkan *upconvert* dengan cara setiap sample sinyal akan dikalikan dengan persamaan eksponensial seperti pada persamaan 3.3 berikut ini.

$$Tup(t) = Sss(t) \times \exp(\sqrt{-1} \times 2\pi f_c t) \quad (3.3)$$

Dimana :

$f_c$  : frekuensi carrier

$t$  : waktu sampling

Sinyal yang akan dikirimkan melalui WARP akan dilakukan normalisasi terlebih dahulu untuk mengoptimalkan DAC yang terdapat pada perangkat WARP yaitu  $2^{14}$ . Pengoptimalan DAC pada nilai dengan range -1 sampai +1. Proses normalisasi dengan cara menentukan nilai skala, kemudian nilai skala tersebut dikalikan dengan sinyal hasil *upconvert* sebagai berikut .

$$Skala = \frac{1}{\max \text{ real dan imajiner sinyal hasil upconvert}} \quad (3.4)$$

Spesifikasi frekuensi *sampling* pada WARP adalah 40 MHz. Pada proses *downconvert*, sinyal yang diterima akan dikalikan kembali dengan konjugat dari perkalian eksponensial pada saat *upconvert* seperti pada persamaan 3.5 berikut ini.

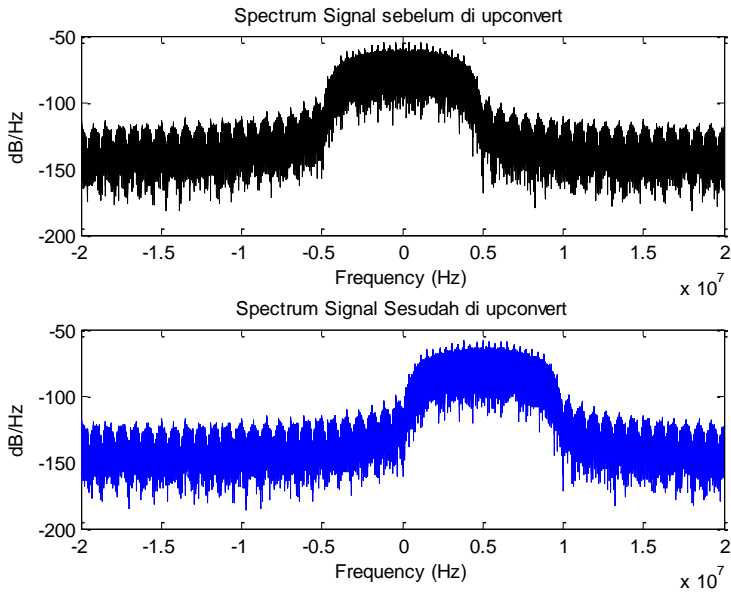
$$Rdown(t) = Sss(t) \times \exp(-\sqrt{-1} \times 2\pi f_c t) \quad (3.5)$$

Dimana :

$f_c$  : frekuensi carrier

$t$  : waktu sampling

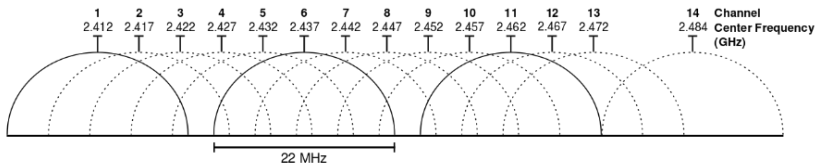
Adapun proses upconvert dimana sinyal baseband digeser menuju frekuensi 5 Mhz ditunjukkan dalam gambar 3.9.



**Gambar 3.9** Upconvert

### 3.2.1.8 *Kanal*

Kanal yang digunakan dalam perancangan ini adalah kanal *real*, artinya pada saat pengukuran kita menggunakan kanal udara. Hal ini dilakukan sebagai pendekatan sistem komunikasi sesungguhnya. Pembagian kanal pada sistem ini menggunakan pembagian seperti pada referensi IEEE 802.11g dengan range frekuensi yang dapat dilihat pada gambar berikut.



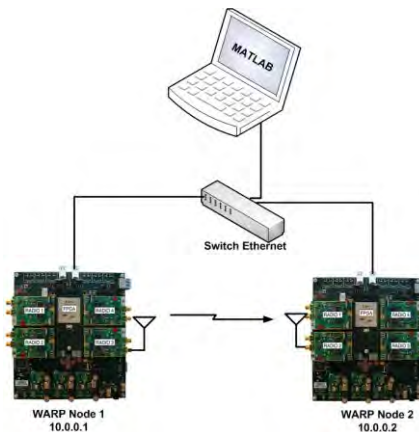
**Gambar 3.10** range frekuensi kanal

Pada pengukuran digunakan kanal 8 karena pada kanal tersebut terhindar dari interferensi yang ada pada ruangan B.304.

### 3.3 Implementasi sistem

#### 3.3.1 Integrasi PC dengan Modul WARP

Pada tugas akhir ini, langkah awal yang dilakukan yaitu pengintegrasian antara PC dengan perangkat WARP. Perangkat WARP yang digunakan pada penelitian yaitu WARP V.2 dengan WARPLab versi 7. Pengintegrasian antara PC dengan perangkat WARP menggunakan *switch ethernet* dan kabel LAN. Integrasi antar PC dengan WARP ditunjukkan pada gambar 3.11

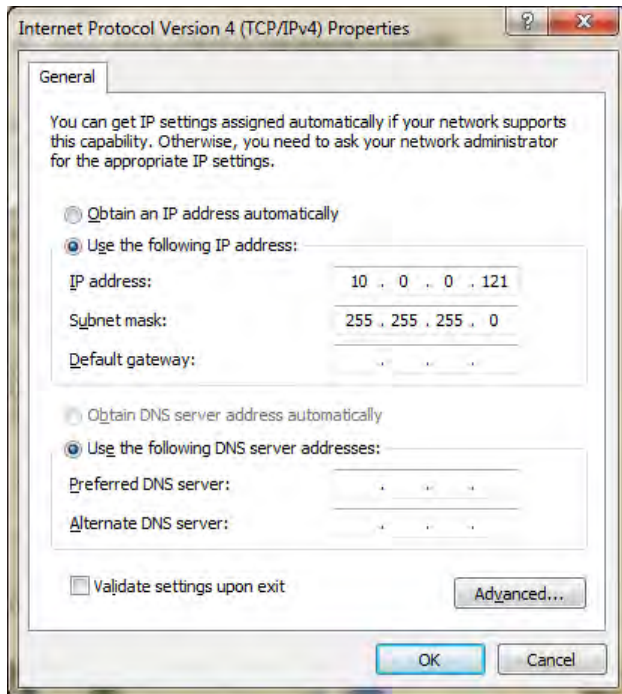


**Gambar 3. 11** Integrasi antara PC dengan WARP



Langkah – langkah pengintegrasian antara PC dengan WARP adalah sebagai berikut :

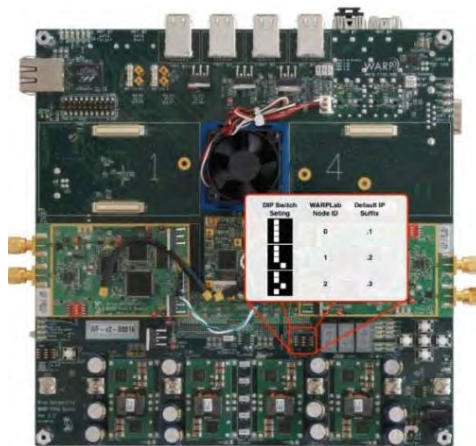
1. Menghubungkan anatar PC dan WARP menggunakan kabel LAN yang terhubung pada *switch gigabit ethernet* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.11.
2. Mengatur IP pada PC sesuai dengan IP ketentuan perangkat WARP yaitu 10.0.0.xx dengan subnet mask 255.255.255.0



**Gambar 3. 12** Pengaturan IP pada PC

3. Mengkonfigurasi *Address Resolution Protocol* (ARP) dengan *command prompt* dan masuk sebagai administrator dengan mengetikkan *comment* :  
arp -a → untuk mengecek tabel ARP  
arp -s 10.0.0.255 ff-ff-ff-ff-ff-ff → untuk mengeset ARP

4. Mengatur nomor IP pada perangkat WARP menjadi 10.0.0.1 untuk *node 1* (pengirim) dan 10.0.0.2 untuk *node 2* (penerima). Pengeturan dilakukan dengan cara mengatur *dipswitch* seperti gambar 3.13.
5. Memeriksa koneksi antara PC dengan perangkat WARP. Pemeriksaan koneksi antara PC dan WARP dapat dilakukan melalui *command prompt* dengan melakukan ping pada masing-masing IP *node* atau melalui matlab, jika menggunakan matlab maka pada *comand window* diketikkan “*wl\_setup*” untuk pengesetan interkoneksi antara PC dengan perangkat kemudian memasukkan IP PC yang digunakan, setelah pengesetan *wl\_setup* langkah selanjutnya yaitu dengan mengetikkan “*wl\_initNodes(2)*”. Angka (2) dari perintah *wl\_initNodes(2)* mengartikan bahwa terdapat dua buah WARP yang terkoneksi. Indikator keberhasilan koneksi dilihat pada *output command window* matlab seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.14.



**Gambar 3. 13** Pengaturan *Dipswitch* WARP

```

Command Window
New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.

>>
>> wl_initNodes(2)

ans =

Displaying properties of 2 wl_node objects:
| ID | WLVER | HWVER | Serial # | Ethernet MAC Addr | Address |
-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | 7.1.0 | 2 | N/A | 00-50-C2-63-30-00 | 10.0.0.1 |
| 1 | 7.1.0 | 2 | N/A | 00-50-C2-63-30-01 | 10.0.0.2 |
-----|-----|-----|-----|-----|
fx >>

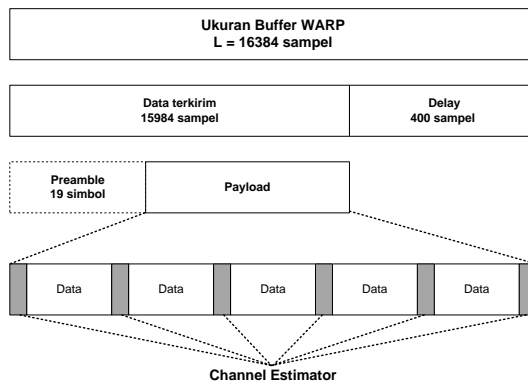
```

**Gambar 3. 14** Indikator keberhasilan interkoneksi antara PC dengan WARP

### 3.3.2 Frame Buffer

Modul WARP memiliki keterbatasan untuk *buffer* IQ yaitu sebesar  $2^{14}$  atau 16384 sampel. Ketika bit yang dikirimkan melebihi *buffer* IQ misalkan 100000 bit yang dikirimkan, maka diperlukan *frame-frame buffer* agar semua bit yang dibangkitkan bisa dikirimkan. Desain dari *frame – frame buffer* ditunjukkan pada gambar 3.11, dimana desain ini mengacu pada batasan – batasan yang diambil dari :

- Buffer WARP terbatas sebanyak  $2^{14}$  atau 16384 sampel
- Frekuensi Sampling sistem : 40 MHz
- Frekuensi maksimum sinyal : 20 MHz



**Gambar 3. 15** Desain *frame* data

Dalam penentuan struktur frame, langkah yang perlu ditentukan yaitu penentuan jumlah simbol yang bisa dikirimkan dalam satu *frame* komunikasi. Parameter yang dapat ditentukan antara lain:

- *Symbol rate*  
*Symbol rate* merupakan jumlah simbol yang ditransmisikan dalam satu detik.
- *Upsample rate*  
*Upsample rate* mengacu kepada jumlah sampel yang digunakan untuk mewakili satu simbol.
- Panjang simbol *preamble*  
Panjang simbol *preamble* ini merupakan jumlah simbol yang digunakan untuk proses *time recovery*.
- Jumlah *channel estimator*  
Jumlah *channel estimator* ini mengacu pada jumlah simbol yang digunakan untuk melakukan estimasi kanal, dimana *channel estimator* ini ditempatkan secara periodik diantara data yang dikirimkan pada bagian *payload*.

Pada perancangan sistem, diasumsikan *tx delay* 400 sampel. Penggunaan *tx delay* ini agar *payload* data yang dikirimkan tidak terpotong apabila terjadi delay pada proses pengiriman dan penerimaan data. Dengan penggunaan *tx delay* 400 sampel ini, berarti terdapat 15984 sampel yang tersisa untuk data. 15984 sampel ini terdiri dari *Preamble* dan *payload* data, dimana jumlah *preamble* yang digunakan yaitu 19 simbol. *Payload* data ini terdiri dari simbol data yang dikirimkan dan simbol CSI (*Channel State Information*) yang diwakili dengan simbol *pilot sequence* sebagai *channel estimator*.

Jumlah CSI yang diwakili dengan simbol *pilot sequence* telah ditentukan yaitu sebesar 150 simbol dan disisipkan setiap 12 simbol data. Pada desain filter *pulse shapping*, nilai *roll-off factor* yang digunakan yaitu 0.9, nilai *roll-off factor* ini menentukan *bandwidth* dari filter yaitu sebesar 4,75 MHz dan nilai dari orde filter sebesar 6 sampel per simbol. Periode simbol atau *upsample rate* dari filter yaitu sebesar 8 sampel. Jumlah simbol data yang akan dikirimkan yaitu 1788 simbol. Simbol data ini akan ditambahkan dengan simbol pilot (CSI) yang telah ditentukan yaitu 150 simbol dan simbol *preamble* yaitu 19 simbol.

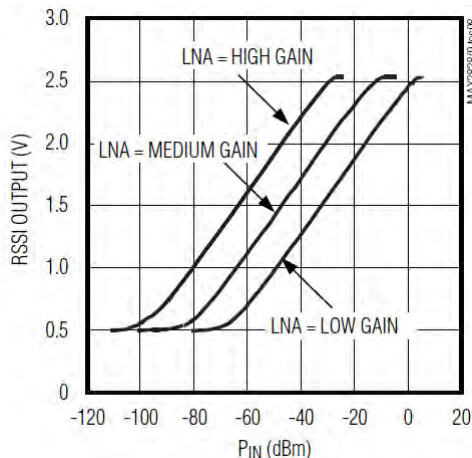
Sehingga dalam satu *buffer* pengiriman terdapat 1957 simbol yang dikirimkan.

### 3.3.3 Datasheet WARP

Modul WARP mempunyai karakteristik khusus yaitu dapat digunakan sebagai modul *transceiver* pada proses komunikasi. Modul radio board ini didesain khusus oleh universitas Rice dengan versi 1.4 [8]. Pada saat radio board bekerja sebagai *transmitter* maka sinyal digital pada modul WARP akan diubah menjadi sinyal analog oleh AD9777 kemudian dipancarkan menggunakan MAX2829. Di penerima akan terdapat dua sinyal yang diproses oleh WARP, yaitu sinyal informasi I/Q dan sinyal RSSI (*Receive Signal Strength Indicator*).

#### 3.3.3.1 RSSI

Pada RSSI ( *Receive Signal Strength Indicator* ) ini dapat diketahui level tegangan tertentu pada penerima. Nilai level tegangan ini dapat kita ketahui berdasarkan informasi dari datasheet. Pada gambar 3.16 akan terlihat karakteristik sinyal analog RSSI pertama dihasilkan oleh MAX2829.



**Gambar 3. 16** Grafik RSSI vs Daya Input MAX2829 [6]

Dapat dilihat pada grafik yang ditunjukkan gambar 3.16 bahwa daya input yang terukur oleh *receiver* akan diubah menjadi tegangan pada range 0.5 – 2.5 Volt. Berdasarkan diagram blok pada gambar 2.18, sinyal analog akan diubah menjadi sinyal digital melalui *A/D converters* (AD9200) . Sinyal digital RSSI bekerja dengan frekuensi sampling 10 MHz. Dapat dilihat pada gambar 3.16 fungsi linier antara output RSSI dan daya input dalam dBm bisa diturunkan sebagai berikut

**Tabel 3. 3** Nilai daya input terhadap RSSI pada LNA low gain

$P_{in}$	-60 dBm	-40 dBm	-20 dBm	0 dBm
RSSI	0.6 V	1.25 V	1.8 V	2.4 V

Persamaan antara  $P_{in}$  terhadap RSSI adalah sebagai berikut :

$$RSSI = 0.03 P_{in} + 2.4 \quad (3. 6)$$

Persamaan linier didapat dari titik -60 dBm dan 0 dBm sebagai titik awal dan akhir persamaan. Apabila diketahui nilai RSSI dalam tegangan maka nilai  $P_{in}$  adalah sebagai berikut :

$$P_{in} = \frac{RSSI - 2.4}{0.03} \quad (3. 7)$$

Nilai untuk konfigurasi gain LNA medium pada persamaan 3.6 dan LNA high pada persamaan 3.7 adalah sebagai berikut :

$$P_{in} = \frac{RSSI - 2.8833}{0.0292} \quad (3. 8)$$

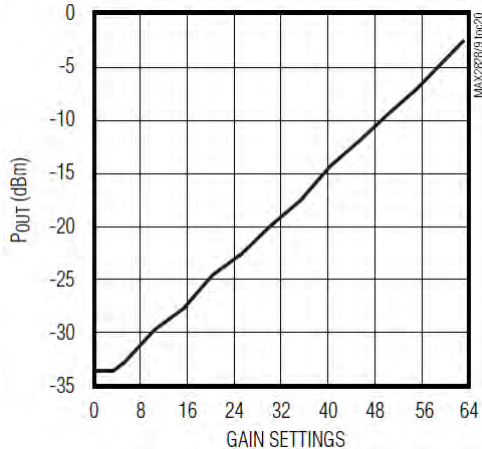
$$P_{in} = \frac{RSSI - 3.8833}{0.0283} \quad (3. 9)$$

Nilai diatas akan linier pada range  $P_{in}$  tertentu, sehingga dapat kita bagi menjadi daya terima optimum untuk pengukuran range -60 dBm sampai -10 dBm adalah untuk LNA *low gain*, range -70 dBm sampai -20 dBm adalah untuk LNA *medium gain*, sedangkan LNA *high gain* pada range -90 dBm sampai -40 dBm. Nilai inilah yang akan digunakan untuk mengkonversi data RSSI menjadi daya input pada WARP.

### 3.3.3.2 *Gain setting*

Pengaturan gain pada WARPLab ini tergantung dari konfigurasi radio board. Secara umum , dapat dijelaskan sebagai berikut :

#### a) Transmitter radio frequency gain



**Gambar 3. 17** Tx Output Power vs Gain Setting MAX2829 [6]

Berdasarkan referensi [5], karakteristik *baseband gain* adalah sebagai berikut :

- Nilai *gain* linier pada range 4 sampai 63.

b) *Transmitter baseband gain*

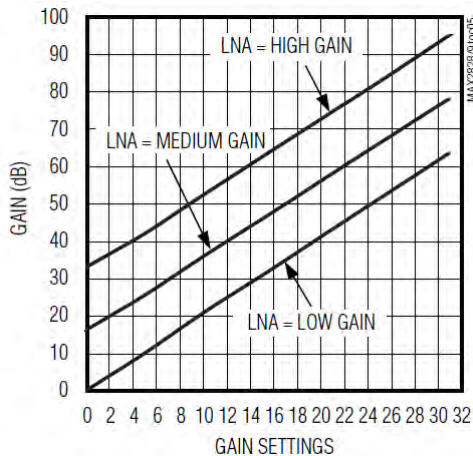
Untuk *baseband gain*, mempunyai 3 level pengaturan melalui WARPLab [6].

c) *Receiver baseband gain*

Pada *gain* ini terdapat 32 level pengaturan. Berdasar referensi [5], grafik penguatan *baseband* dapat dilihat pada gambar 3.18.

d) *Receiver radio frequency gain*

Pada bagian ini *node* WARP memiliki 3 level LNA yaitu *low gain*, *medium gain* dan *high gain*. Besar penguatan juga berdasarkan gambar 3.16. Besar dari penguatan LNA yaitu 0 dB untuk *low gain*, 15 dB untuk *medium gain* dan 30 dB untuk *high gain*.



**Gambar 3. 18** Rx Voltage Gain vs Baseband Gain Setting  
MAX2829[6]

### 3.4 Metode Pengukuran

#### 3.4.1 Metode Pengukuran BER

Pada tugas akhir ini, pengukuran dilakukan dalam kondisi lingkungan *indoor* yang bertempat di dalam lab B.304 secara *line-of-sight* (LOS). Tujuan pengukuran ini adalah untuk mengukur kinerja serta banyak user yang dapat dilayani secara simultan dari sistem



komunikasi MC DS CDMA dibandingkan terhadap sistem komunikasi SC DS CDMA dengan meninjau BER.

Pada pengukuran, terdapat kriteria – kriteria yang digunakan untuk mengetahui kinerja sistem komunikasi SISO dengan teknik MC DS CDMA menggunakan WARP.

Kriteria – kriteria yang digunakan dalam pengukuran antara lain :

- Jumlah bit yang dikirimkan : 10000 bit
- Frekuensi *upconvert* : 5 MHz
- Simbol *Preamble* : 19 simbol
- channel estimator* (CSI) : 150 simbol, periodik setiap 12 sampel

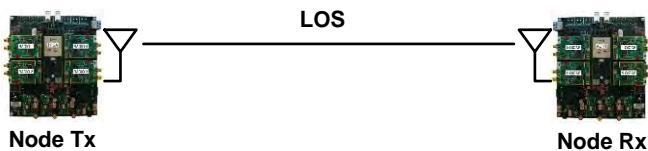
Parameter yang digunakan untuk filter *Squared Root Raised Cosine* (SRRC) antara lain :

- Roll-off factor* filter : 0.9
- Orde filter dalam simbol : 6
- Upsample rate* : 8 sampel

Parameter *level gain setting* pada modul WARP adalah sebagai berikut :

- Tx *Baseband gain* (Tx\_BB) : 1
- Tx *Radio Frequency gain* (Tx\_Rf) : divariasikan dengan kenaikan - kelipatan 5 sampai dengan 60
- Rx *Baseband gain* (Rx\_BB) : 1
- Rx *Radio Frekuensi gian* (Rx\_Rf) : 1

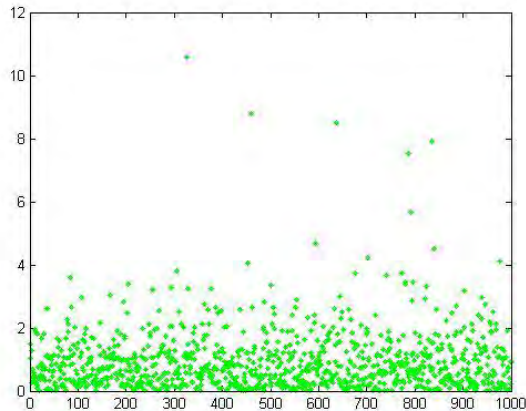
Dengan kriteria-kriteria yang ditentukan tersebut, hasil yang diharapkan dari pengukuran yaitu memastikan bahwa desain sistem komunikasi SISO dengan teknik MC DS CDMA menggunakan WARP mampu mengirimkan data pada kondisi ideal.



**Gambar 3. 19** kondisi *Line of Sight* (LOS)

### 3.4.2 Metode Pengukuran Eb/No

Selain BER, nilai Eb/No akan dicari untuk menunjang evaluasi unjuk kerja sistem MC DS CDMA. Nilai Eb/No didapatkan dengan cara menganalisa konstelasi dari sistem modulasi yang digunakan. Dalam tugas akhir ini sistem modulasi yang digunakan adalah BPSK. Adapun diagram konstelasi inphase yang telah digeser ke bidang positif ditunjukkan dalam gambar 3.20.



**Gambar 3.20** Konstelasi Inphase dan Quadrature BPSK.

Langkah – langkah memperoleh nilai Eb/No :

1. Ambil nilai inphase dari konstelasi BPSK
2. Menghitung nilai Eb sistem dengan cara merata – rata nilai Eb absolut dari inphase
3. Menghitung nilai No dengan menghitung nilai variasi noise inphase
4. Menghitung nilai Eb/No
5. Mengkonversi nilai Eb/No ke dalam db.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## **BAB IV**

### **HASIL DAN ANALISA DATA**

Pada bab ini akan dibahas hasil dan analisa dari implementasi sistem MC DS CDMA menggunakan WARP dimulai dari proses pengiriman data di *transmitter* hingga data diterima di *receiver*. Kemudian akan dianalisa pula perbandingan MC DS CDMA terhadap SC DS CDMA dengan meninjau *Bit Error Rate* (BER) untuk mengetahui unjuk kerja sistem serta banyaknya *user* yang dapat dilayani secara simultan.

#### **4.1 Analisa Sistem Komunikasi MC DS CDMA**

Analisa sistem komunikasi MC DS CDMA menggunakan WARP dilakukan berdasarkan perancangan sistem pada bab 3 dengan blok diagram yang ditunjukkan pada gambar 3.2 dan 3.3. Blok diagram tersebut menggambarkan proses sistem komunikasi MC DS CDMA dimulai dengan pembangkitan bit, kemudian bit dikirimkan melalui WARP, hingga bit diterima pada sisi penerima dan bit akan dibandingkan antara bit informasi yang dikirimkan dengan bit estimasi yang diterima.

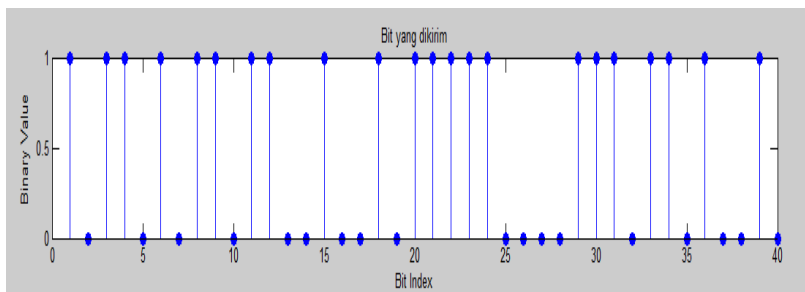
##### **4.1.1 Pembangkitan bit, *serial to parallel*, *spreading* dan IFFT**

Proses pertama yang dilakukan dari sistem komunikasi MC DS CDMA adalah proses pembangkitan bit secara acak. Kemudian bit – bit tersebut dirubah ukuran matriksnya melalui proses *serial to parallel*. Ilustrasi proses serial to parallel ditunjukkan pada gambar 4.1. Bit – bit tersebut selanjutnya dijadikan simbol – simbol melalui proses modulasi. Hasil dari proses modulasi berupa simbol kompleks yang memiliki nilai *real* dan *imaginer*. Nilai *real* menunjukkan bagian *in-phase* dan nilai *imeginer* menunjukkan bagian *quadrature*. Hasil pembangkitan bit secara acak ditunjukkan pada gambar 4.2.

Selanjutnya deretan data akan dikalikan dengan kode PN. Kode PN yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah kode *Gold*. Kode *Gold* memiliki 63 panjang *sequence*, dimana setiap *sequencenya* dapat dikalikan dengan bit data yang berbeda untuk komunikasi *multiuser*. Masing- masing data *user* akan dikalikan dengan *sequence* kode *Gold* yang berbeda. Dengan perkalian terhadap masing – masing *sequence* kode *Gold*, maka akan diperoleh deretan bit informasi yang berbeda untuk setiap data *user*.

Diagram illustrating the reduction of a 10000x1 matrix to a 1000x10 matrix. The top part shows a single row of 10000 elements (S1 to S10000) with a width of 1 and a height of 10000. A large downward arrow indicates a reduction process. The bottom part shows a 1000x10 matrix with a width of 10 and a height of 1000, where each row contains 10 elements (e.g., S1, ..., S1000).

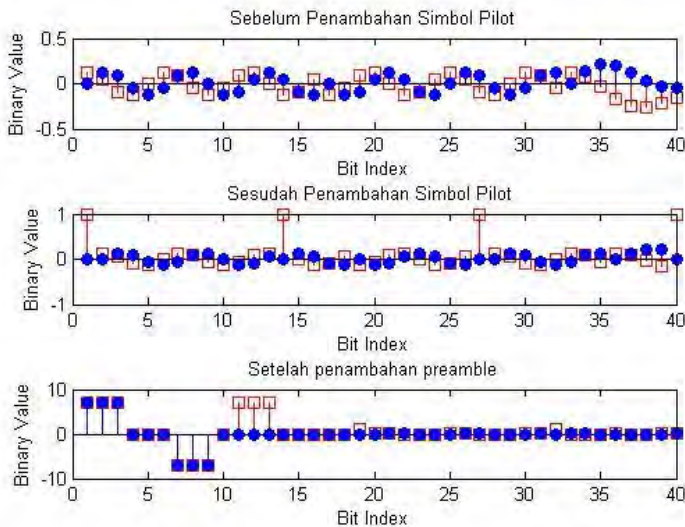
**Gambar 4.1** Ilustrasi proses *serial to parallel*



**Gambar 4. 2** Bit yang dibangkitkan secara acak

#### 4.1.2 Penambahan *pilot* dan *preamble*

Kemudian simbol akan ditambah dengan simbol *pilot*, dimana simbol *pilot* ini digunakan untuk estimasi kanal pada penerima. Setelah simbol ditambah dengan simbol *pilot*, selanjutnya simbol akan ditambah dengan simbol *preamble* yang telah ditentukan. Simbol *preamble* ini digunakan untuk mengetahui simbol pertama yang dikirimkan oleh *transmitter* pada bagian penerima. Hasil penambahan simbol *pilot* dan *preamble* ditunjukkan pada gambar 4.3.

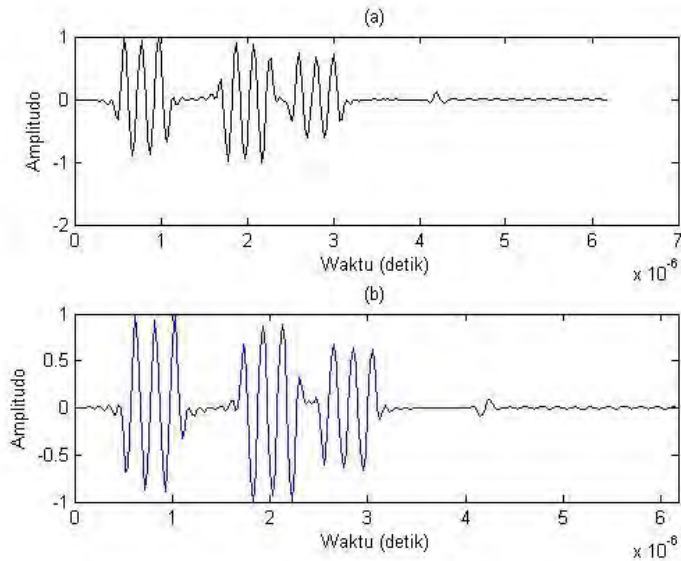


**Gambar 4. 3** (a) sebelum penambahan simbol *pilot* (b) sesudah penambahan simbol *pilot* (c) Simbol dengan penambahan *preamble*

#### 4.1.3 Deret Pulsa Squared Root Raise Cosine (SRRC)

Deretan Sinyal yang telah ditambah dengan *preamble* kemudian akan di *upsample* sebanyak 8, kemudian dilewatkan filter *squared Root Raised Cosine* (SRRC). Dalam penampilan data, respon transien dari filter *squared Root Raised Cosine* (SRRC) akan dihilangkan agar data yang ditransmisikan dapat dibandingkan dengan bentuk pulsa. Gambar deret pulsa *squared Root Raised Cosine* ditunjukkan pada gambar 4.4.



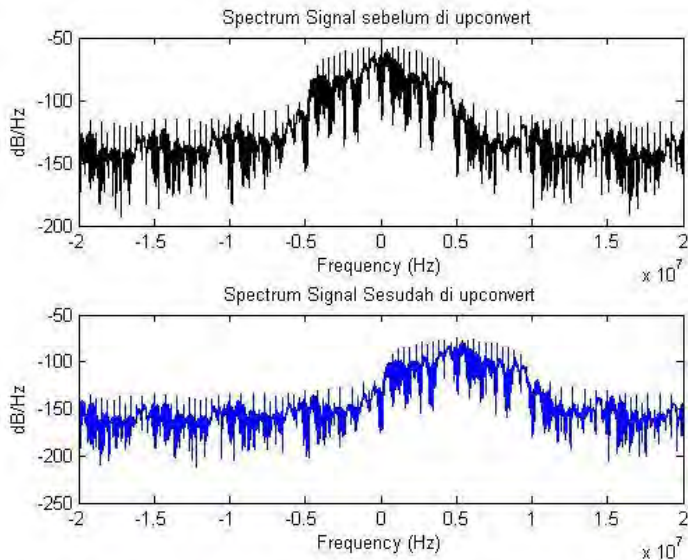


**Gambar 4. 5** Sinyal hasil *upconvert* (a) *inphase* dan (b) *quadrature*

Dengan menggunakan *transformasi forier* dari hasil filter *square root raised cosine* (SSRC) diperoleh spektrum sinyal *baseband*. Spektrum sinyal *baseband* sebelum di *upconvert* dan spectrum sinyal setelah mengalami proses *upconvert* ditunjukkan pada gambar 4.6. Berdasarkan gambar 4.6 spektrum sinyal *baseband* sebelum di *upconvert*, lebar bandwidth sinyal sebesar 5 MHz. Nilai ini diperoleh dari periode simbol *baseband*. Setelah sinyal di *upconvert* ke frekuensi 5 MHz, maka frekuensi sinyal akan bergeser ke frekuensi tengah 5 MHz. Dengan bergesernya sinyal ke frekuensi tengah 5 MHz, maka *bandwidth* sinyal melebar menjadi dua kali *bandwidth* sinyal *baseband*.

Setelah sinyal di *upconvert*, maka sinyal akan dikirimkan pada perangkat WARP menggunakan kabel *gigabit ethernet*. Pada perangkat WARP sinyal akan di tumpangkan pada frekuensi 2,4 GHz sesuai dengan frekuensi perangkat WARP. Pengiriman sinyal ini menggunakan kanal WIFI yaitu dengan menggunakan kanal 8 dengan frekuensi tengah 2,447 GHz.



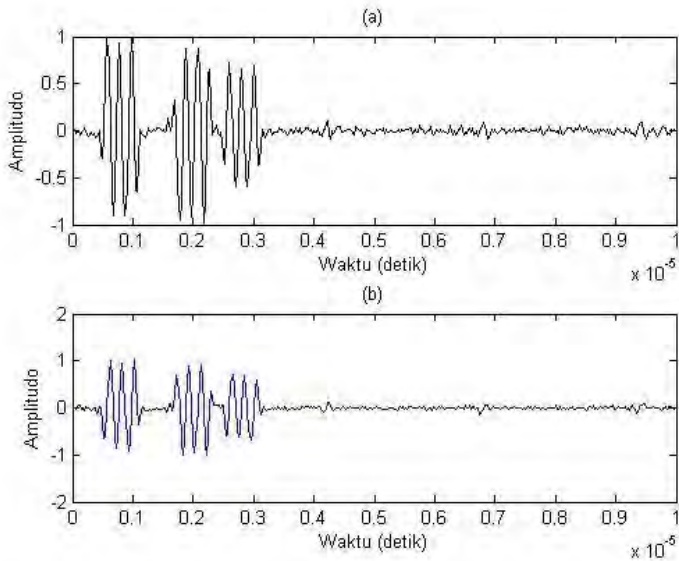


**Gambar 4. 6** (a) Spektrum sinyal *baseband* sebelum di *upconvert*  
 (b) Spektrum sinyal setelah di *upconvert*

Berdasarkan gambar 4.6, pada sinyal *passband* ini *bandwidth* sinyal menjadi dua kali dari sinyal *baseband*. Dimana *bandwidth* sinyal *baseband* adalah 5 MHz, sedangkan *bandwidth* sinyal *passband* adalah 10MHz.

#### 4.1.5 Sinyal pada Penerima dan proses *downconvert*

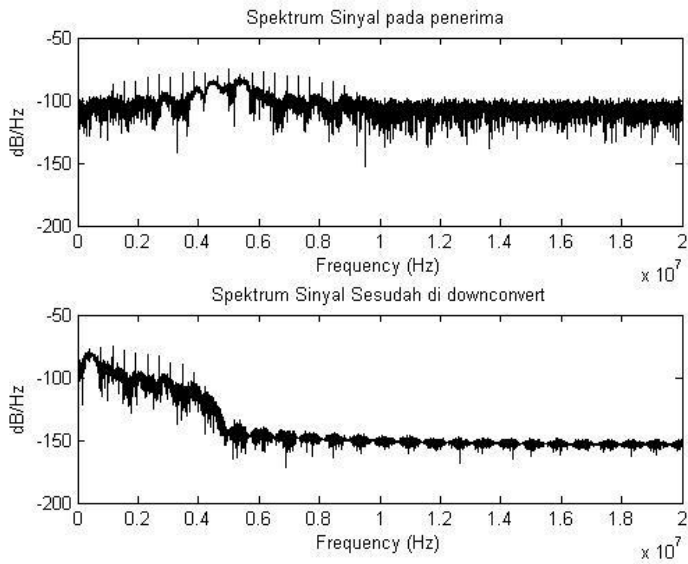
Sinyal dikirimkan dari WARP *node transmitter* dan diterima pada WARP *node receiver*. Sinyal yang diterima ini kemudian dilakukan proses *downconvert*. Proses *downconvert* ini bertujuan untuk mengembalikan sinyal ke frekuensi semula setelah di *upconvert* ke frekuensi 5 MHz. Sinyal yang diterima pada WARP *node receiver* ini dalam bentuk real dan imajiner yang ditunjukkan pada gambar 4.7.



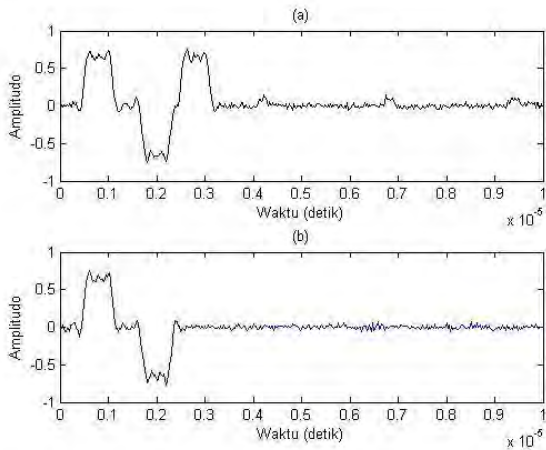
**Gambar 4. 7** Sinyal yang diterima (a) *inphase* dan (b) *quadrature*

Bentuk spektrum sinyal yang diterima ditunjukkan pada gambar 4.8 dimana spektrum sinyal ini memiliki rentang frekuensi antara 0 sampai dengan 10 MHz dengan frekuensi tengahnya terletak pada 5 MHz. Bentuk spektrum sinyal yang diterima ini menyerupai bentuk spektrum sinyal setelah di *upconvert* atau sebelum sinyal dikirimkan.

Setelah sinyal yang diterima dikembalikan ke frekuensi semula dengan proses *downconvert* 5 MHz, spektrum sinyal berubah dengan bergeser ke titik 0 Hz, seperti spektrum sinyal *baseband* pada pengirim sebelum di *upconvert*. Spektrum sinyal yang diterima dan spektrum sinyal setelah mengalami proses *downconvert* ditunjukkan pada gambar 4.8. Sedangkan untuk sinyal hasil dari proses *downconvert* ditunjukkan pada gambar 4.9.



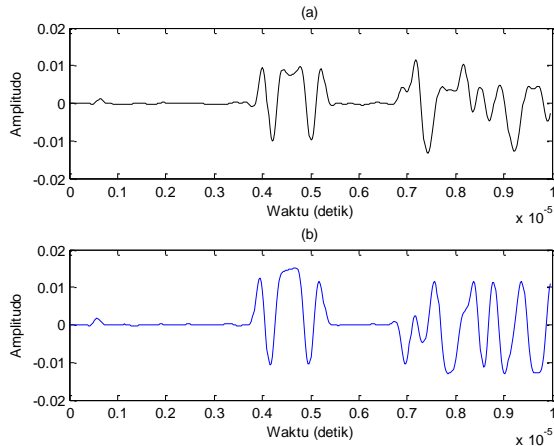
**Gambar 4. 8** (a) Spektrum sinyal pada penerima dan (b) Spektrum sinyal setelah proses downconvert



**Gambar 4. 9** Sinyal hasil proses downconvert (a) *inphase* dan (b) *quadrature*

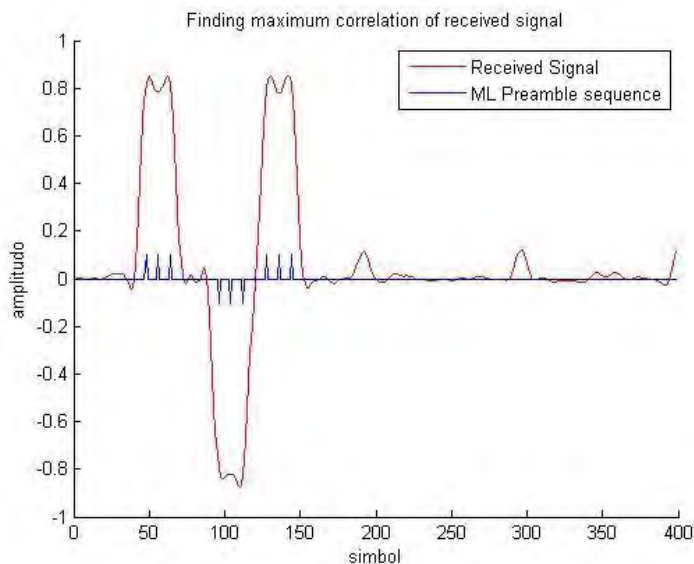
#### 4.1.6 Sinyal setelah proses *Matched Filter*

Proses *Matched filter* ini akan menghilangkan frekuensi tinggi dari sinyal sebelum dilakukan proses pendeteksian *preamble* dan simbol. Bentuk sinyal setelah proses *matched filter* ditunjukkan pada gambar 4.10.



**Gambar 4. 10** Sinyal setelah proses *matched filter* (a) *inphase* dan (b) *quadrature*

Setelah proses *matched filter* akan dilakukan proses pendeteksian simbol pertama *preamble* berdasarkan korelasi tertinggi antara sampel yang diterima dengan sample *preamble*. Pendeteksian simbol pertama *preamble* ditunjukkan pada gambar 4.11.



**Gambar 4. 11** Pendeteksian Simbol *Preamble*

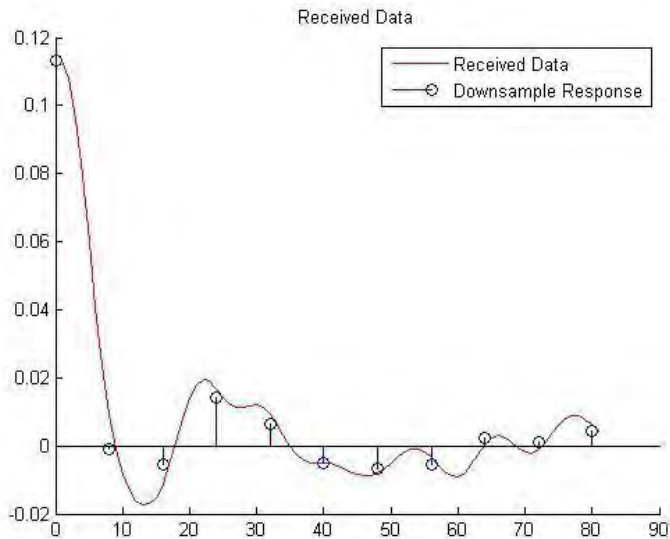
#### 4.1.7 Sinyal setelah proses *downsample*

Proses *downsample* ini bertujuan untuk mengembalikan jumlah sampel setelah proses *upsample* di sisi *transmitter*. Dimana proses *downsample* ini dilakukan setelah diperoleh simbol pertama *preamble* berdasarkan korelasi tertinggi antara sinyal yang diterima dengan simbol *preamble*. Sinyal hasil *downsample* ditunjukkan pada gambar 4.12.

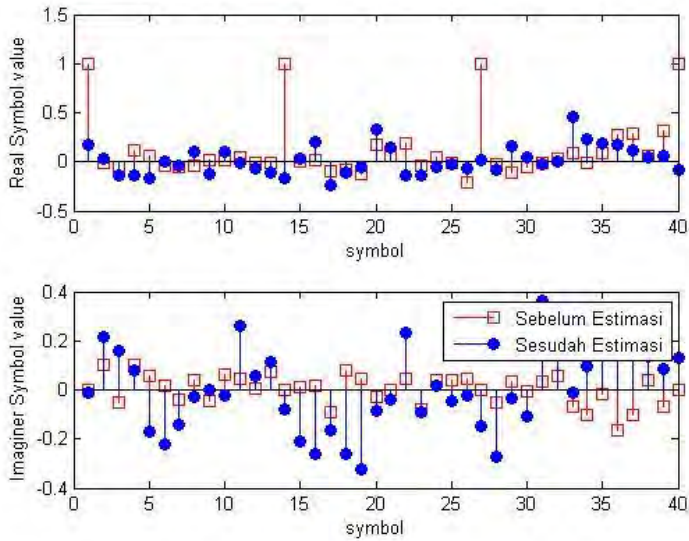
#### 4.1.8 Estimasi Kanal

Proses estimasi kanal ini dilakukan dengan pengestimasian simbol yang diterima dengan menggunakan estimasi respon kanal yang diletakkan secara periodik setiap 12 simbol data pada awal proses transmisi simbol. Hasil estimasi simbol ditunjukkan pada gambar 4.13.

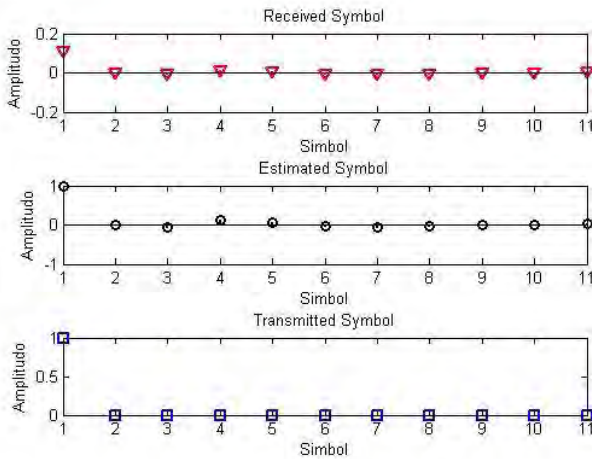
Perbandingan simbol yang diterima, simbol hasil estimasi dan simbol yang dikirimkan dapat dilihat pada gambar 4.14 untuk simbol *inphase* dan pada gambar 4.15 untuk simbol *quadrature*. Dari hasil perbandingan simbol dapat diamati bahwa simbol yang diterima mengalami pergeseran fase. Ketika pada proses deteksi tidak melakukan perbaikan fase maka simbol akan mengalami kesalahan deteksi. Proses perbaikan fase ini dilakukan dengan estimasi kanal, sehingga hasil simbol setelah proses estimasi bisa menyerupai simbol yang di kirimkan.



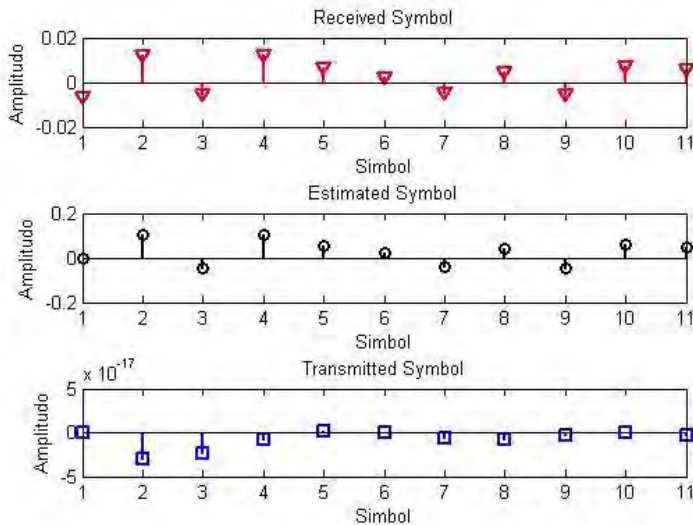
**Gambar 4. 12** (a) Hasil proses *downsample* untuk simbol *real*  
(b) Hasil proses *downsample* untuk simbol *imaginer*



**Gambar 4. 13** (a) simbol estimasi *real* (b) simbol estimasi *imaginer*



**Gambar 4. 14** Perbandingan Simbol Inphase



**Gambar 4. 15** Perbandingan Simbol Quadrature

#### 4.1.9 FFT dan *despreading*

Selanjutnya sinyal yang sudah dilakukan proses estimasi akan melalui proses FFT untuk dikembalikan ke bentuk semula seperti sebelum mengalami proses IFFT. Setelah itu akan dilakukan proses *despreading* yaitu sinyal hasil FFT akan dikalikan dengan *sequence* kode PN yang dikehendaki untuk memperoleh data *user* tertentu.

#### 4.1.10 Proses Demodulasi dan Bit Estimasi

Setelah proses estimasi kanal dan penghilangan simbol *pilot*, simbol tersebut akan dilakukan proses demodulasi BPSK. Proses demodulasi ini mengubah sinyal kompleks yang memiliki nilai real dan imajiner menjadi simbol – simbol dalam bentuk *integer*. Simbol – simbol ini akan diubah menjadi deretan bit estimasi.



## 4.2 Analisa Hasil Pengukuran

Proses pengukuran dilakukan di lingkungan *indoor* yang bertempat di ruang B 304 , Laboratorium Telekomunikasi Multimedia Jurusan Teknik Elektro. Pengukuran ini dilakukan dalam kondisi LOS (*Line of Sight*) seperti pada gambar 3.19. Dalam pengukuran ini dilakukan dengan dua cara, yang pertama adalah dengan melakukan pengukuran terhadap variasi jarak antar *node*. Jarak antara dua *node* akan divariasikan yaitu untuk jarak 3 m dan 5 m. Kemudian untuk cara yang kedua adalah dengan memvariasikan daya pancar (Tx\_Rf). Analisa pengukuran ini akan didasarkan pada nilai BER sebagai representasi dari unjuk kerja sistem serta sebagai representasi terhadap banyak *user* yang dapat dilayani secara simultan. Pada teori nilai BER didapatkan dengan mengubah nilai  $E_b/N_0$ , dimana nilai dari  $E_b/N_0$  merupakan rasio daya pancar, jika nilai dari  $N_0$  diasumsikan tetap karena jarak antara *node* pada saat pengukuran tetap, maka semakin besar daya pancar maka nilai  $E_b/N_0$  semakin besar.

### 4.2.1. Analisa BER Sebagai Representasi Unjuk Kerja Sistem dengan Mengubah Fungsi Jarak

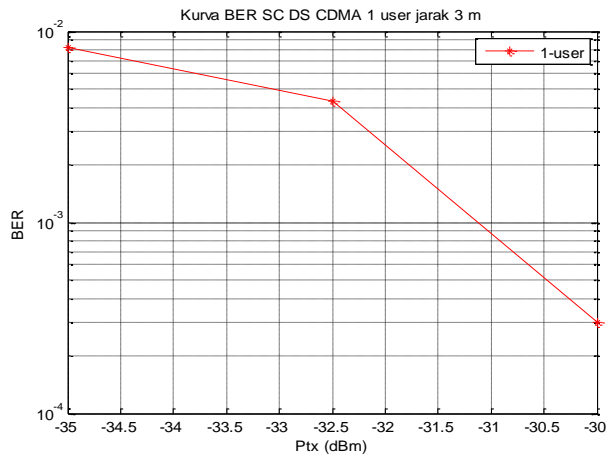
Pengukuran pertama dilakukan dengan cara mengubah jarak antara dua *node* WARP yaitu *node* pengirim dan *node* penerima. Jarak yang digunakan adalah 3 meter dan 5 meter. Parameter *gain* yang digunakan untuk pengukuran dengan mengubah jarak ini antara lain:

- Tx Baseband gain (Tx\_BB) : 1
- Tx Radio Frequency gain (Tx\_Rf) : 0-60
- Rx Baseband gain (Rx\_BB) : 1
- Rx Radio Frekuensi gian (Rx\_Rf) : 1

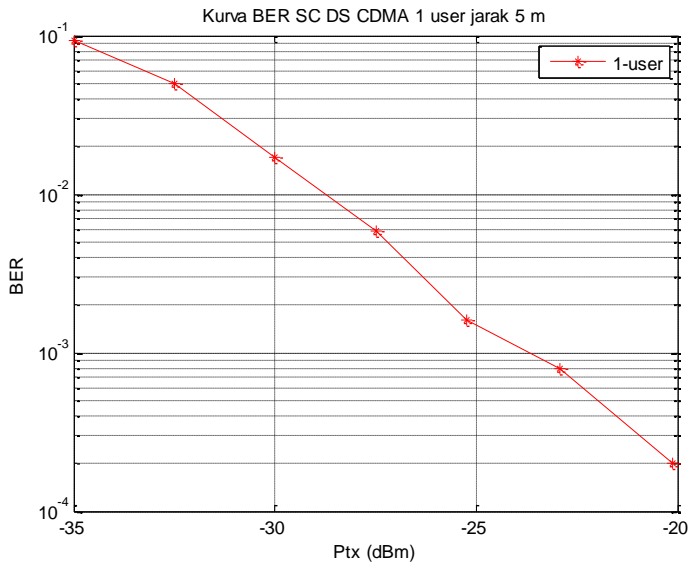
Hasil pengukuran BER dengan mengubah jarak antar *node* pengirim dan *node* penerima dengan parameter yang telah ditentukan ditunjukkan pada tabel 4.1 dan tabel 4.2. Adapun hasil pengukuran ini mengambil sampel untuk data satu *user*.

**Tabel 4. 1** BER SC DS CDMA pada Jarak 3m dan 5 m

SC DS CDMA Gain	BER ( <i>Bit Error Rate</i> )	
	Jarak 5 m	Jarak 3 m
0	0,094	0,0082
5	0.0498	0,0043
10	0.0172	0,0003
15	0.0058	0
20	0.0016	0
25	0.0008	0
30	0.0002	0
35	0	0
40	0	0
45	0	0
55	0	0
60	0	0



**Gambar 4.16** Kurva BER SC DS CDMA pada Jarak 3 meter.

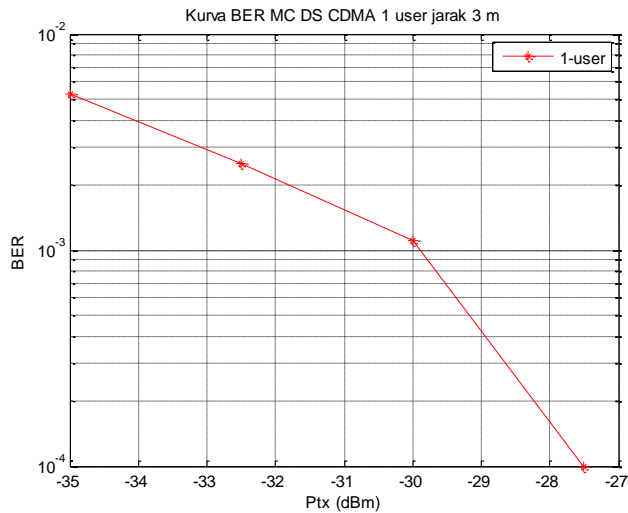


**Gambar 4.17** Kurva BER SC DS CDMA pada Jarak 5 meter.

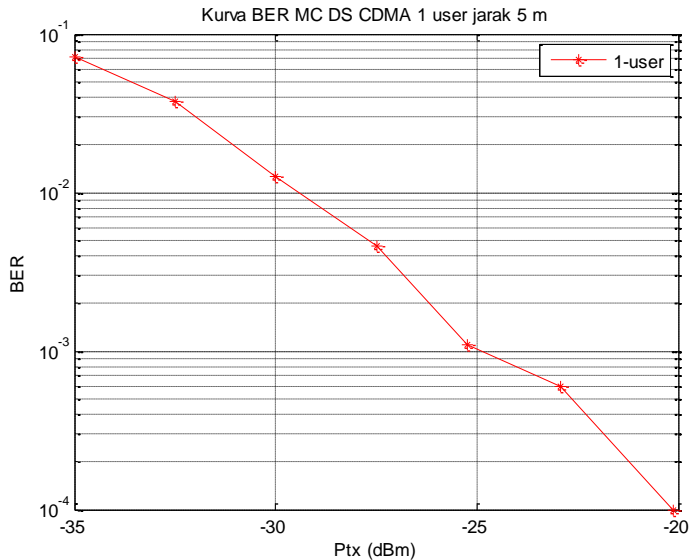
Berdasarkan data pengukuran yang disajikan pada tabel 4.1, dapat dilihat bahwa pada jarak 3 meter dengan gain 15, nilai BER SC DS CDMA adalah 0. Sedangkan pada jarak 5 meter dengan gain 15, nilai BER SC DS CDMA adalah 0,0058. Selain itu dapat dilihat pula dalam gambar 4.16 dan 4.17 bentuk kurva BER yang sama turunnya terhadap kenaikan gain tetapi dengan nilai BER yang lebih rendah untuk jarak antar *node* pengirim dan penerima 3 meter. Dari hasil ini dapat diperoleh analisa bahwa nilai BER SC DS CDMA akan semakin besar seiring dengan penambahan jarak antar node pengirim dan penerima.

**Tabel 4.2** BER MC DS CDMA pada Jarak 3 m dan 5 m

MC DS CDMA Gain	BER ( <i>Bit Error Rate</i> )	
	Jarak 5 m	Jarak 3 m
0	0,0721	0,0053
5	0.0376	0,0025
10	0.0125	0,0011
15	0.0046	0,0001
20	0.0011	0
25	0.0006	0
30	0.0001	0
35	0	0
40	0	0
45	0	0
55	0	0
60	0	0



**Gambar 4.18** Kurva BER MC DS CDMA pada Jarak 3 m.



**Gambar 4.19** Kurva BER MC DS CDMA pada Jarak 5 m

Berdasarkan data pengukuran yang disajikan pada tabel 4.2, dapat dilihat bahwa pada jarak 3 meter dengan gain 20, nilai BER MC DS CDMA adalah 0. Sedangkan pada jarak 5 meter dengan gain 20, nilai BER MC DS CDMA adalah 0,0011. Dapat dilihat pula dalam gambar 4.18 dan 4.19 bentuk kurva BER yang sama turunnya terhadap kenaikan gain, tetapi dengan nilai BER yang lebih rendah untuk jarak antar *node* pengirim dan penerima 3 meter. Dari hasil ini dapat diperoleh kesimpulan bahwa nilai BER MC DS CDMA akan semakin besar seiring dengan pertambahan jarak antar *node* pengirim dan penerima.

Ternyata dari kedua sistem, baik MC DS CDMA maupun SC DS CDMA nilai BER mengalami kenaikan terhadap perubahan jarak yang semakin jauh antar node pengirim dan penerima. Maka dari itu dapat disimpulkan semakin jauh jarak antar *node* pengirim dan penerima, maka semakin tinggi pula nilai BER yang diperoleh dalam gain yang sama. Hal ini disebabkan perbandingan nilai noise semakin dominan terhadap nilai daya, dimana daya akan semakin turun di penerima jika jarak node semakin jauh.

#### 4.2.2 Analisa BER sebagai representasi unjuk kerja sistem dengan Mengubah Level Daya Pancar (Tx\_Rf)

Selain mengubah fungsi jarak, pengukuran juga dilakukan dengan mengubah level daya pancar (Tx\_Rf) dari 0 sampai 60 dengan kenaikan daya pancar sebanyak 5 level pada jarak yang sama yaitu 5 meter. Parameter gain yang digunakan untuk pengukuran dengan mengubah nilai Tx\_Rf ini antara lain:

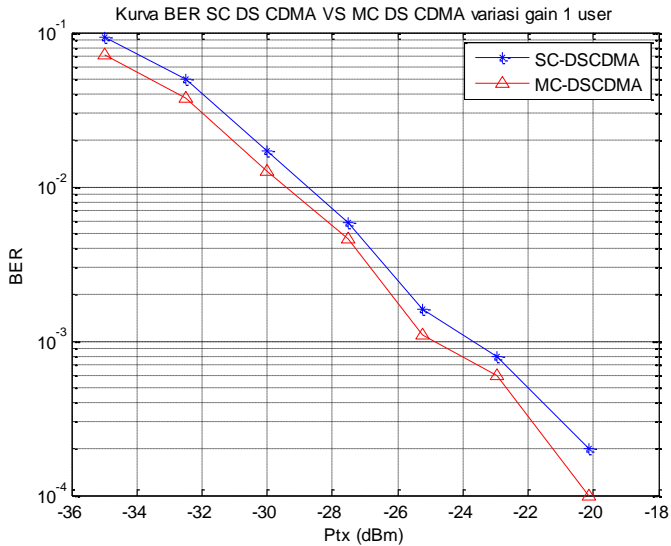
- Tx *Baseband gain* (Tx\_BB) : 1
- Tx *Radio Frequency gain* (Tx\_Rf) : 0 – 60 kenaikan 5 level
- Rx *Baseband gain* (Rx\_BB) : 1
- Rx *Radio Frekuensi gian* (Rx\_Rf) : 1

Hasil dari pengukuran dengan mengubah level daya pancar (Tx\_Rf) di lingkungan indoor dengan kondisi LOS ditunjukkan pada tabel 4.3. Hasil pengukuran ini mengambil sampel untuk data 1 *user*.

**Tabel 4. 3** Perbandingan BER MC DS CDMA dan MC DS CDMA dengan kenaikan level gain daya pancar (Tx\_Rf) pada Jarak 5 meter.

Level Tx_Rf	BER (Bit Error Rate)	
	SC DS CDMA	MC DS CDMA
0	0,094	0.0721
5	0.0498	0.0376
10	0.0172	0.0125
15	0.0058	0.0046
20	0.0011	0.0016
25	0.0008	0.0006
30	0.0002	0.0001
35	0	0
40	0	0
45	0	0
50	0	0
55	0	0
60	0	0

Dari nilai tabel 4.3 dapat dibuat kurva BER SC DS CDMA dan MC DS CDMA terhadap daya pancar Tx<sub>Rf</sub> seperti pada gambar 4.16.



**Gambar 4.20** Kurva BER SC DS CDMA dan MC DS CDMA Variasi Tx<sub>Rf</sub> pada Jarak 5 meter untuk 1 User.

Dari table 4.3 dan Gambar 4.20 dapat kita amati nilai BER untuk setiap kenaikan daya pancar pada SC DS CDMA maupun MC DS CDMA. Pada SC DS CDMA bentuk kurva BER turun terhadap kenaikan daya pancar. Nilai BER 0,0002 dicapai ketika nilai gain daya pancar dinaikkan sebesar 30 level. Begitu pula pada MC DS CDMA didapatkan nilai BER 0,0001 untuk gain daya pancar sebesar 30 level.

Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya nilai gain daya pancar maka semakin kecil nilai BER yang dihasilkan. Semakin besar daya yang dipancarkan maka pengaruh noise yang ada akan semakin kecil, sehingga nilai BER akan semakin kecil pula.

#### **4.2.3 Analisa BER sebagai representasi banyak user yang mampu dilayani secara simultan.**

Pada analisa sebelumnya telah dilakukan analisa BER terhadap perubahan jarak antar node untuk 3 meter dan 5 meter serta analisa BER terhadap perubahan daya pancar (PTx). Analisa tersebut dilakukan dengan data untuk komunikasi *single user* dimana jumlah *user* yang dikirimkan adalah 1.

Kali ini parameter BER akan digunakan sebagai representasi unjuk kerja sistem komunikasi *multiuser*. Pada pengukuran kali ini akan dibandingkan banyak *user* yang mampu dilayani secara simultan oleh sistem komunikasi MC DS CDMA dan SC DS CDMA dengan meninjau nilai BER. Pengukuran dilakukan dengan jarak antar *node transmitter* dan *receiver* sebesar 5 m. Dalam pengukuran ini nilai gain daya pancar (Tx\_Rf) divariasikan dari 0 sampai dengan 60. Kenaikan nilai gain daya pancar (Tx\_Rf) diatur untuk kelipatan 5 level. Hasil dari pengukuran dengan jumlah *user* yang dikirim mulai dari 1 *user*, 5 *user*, 10 *user*, 15 *user* dan seterusnya dengan kenaikan jumlah *user* sebanyak 5 sampai dengan 60 *user* ditunjukkan dalam tabel 4.4 dan 4.5.

Setelah didapatkan hasil pengukuran seperti pada tabel 4.4. dan 4.5, masing – masing nilai BER untuk 1 *user*, 5 *user* dan seterusnya sampai dengan 60 *user* diplot dengan matlab untuk melihat kurva perbandingan BER terhadap variasi kenaikan daya pancar (PTx). Adapun hasil plotting kurva BER terhadap kenaikan daya pancar (PTx) untuk 1 *user*, 5 *user*, 10 *user* dan seterusnya sampai dengan 60 *user* ditunjukkan pada gambar 4.21 dan 4.22. Pada Gambar 4.23 dan 4.24 ditunjukkan pula perbandingan BER terhadap kenaikan daya pancar (PTx) sampai dengan 20 *user*.

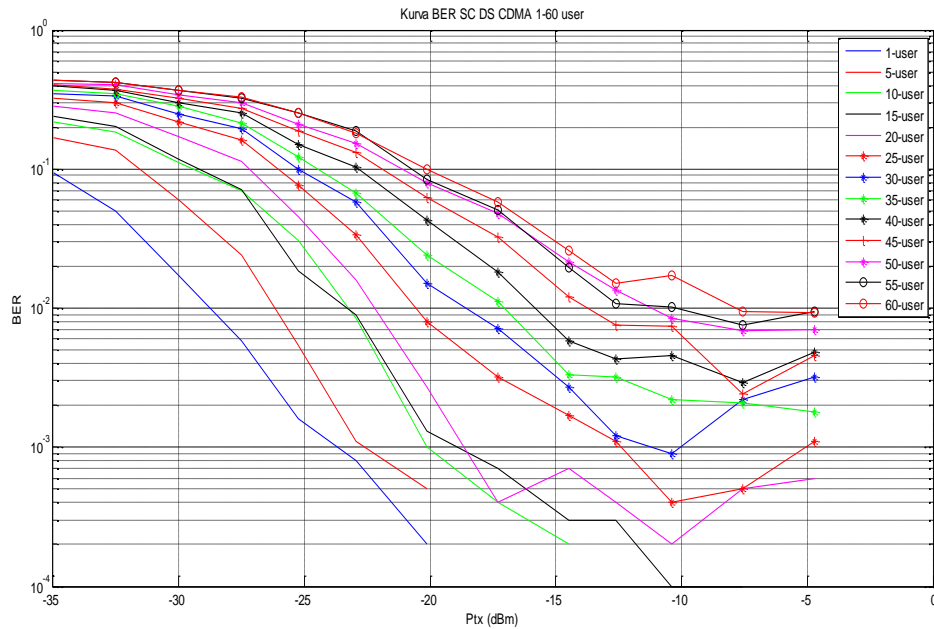


						Nilai BER		SC DS CDMA								
PENGAMATAN		GAIN														
jumlah user yg dikirim	Parameter	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60		
1	BER	0.094	0.0498	0.0172	0.0058	0.0016	0.0008	0.0002	0	0	0	0	0	0		
5	BER	0.1669	0.1379	0.0597	0.0242	0.0054	0.0011	0.0005	0	0	0	0	0	0		
10	BER	0.2183	0.1838	0.1105	0.0698	0.0307	0.0085	0.001	0.0004	0.0002	0	0	0	0		
15	BER	0.2392	0.2034	0.1179	0.0705	0.0186	0.0089	0.0013	0.0007	0.0003	0.0003	0.0001	0.0001	0		
20	BER	0.2841	0.2541	0.1701	0.1125	0.0457	0.0159	0.0027	0.0004	0.0007	0.0004	0.0002	0.0005	0.0006		
25	BER	0.3239	0.3009	0.2172	0.1625	0.0771	0.0339	0.008	0.0032	0.0017	0.0011	0.0004	0.0005	0.0011		
30	BER	0.3501	0.3364	0.2474	0.1941	0.1003	0.0583	0.015	0.0072	0.0027	0.0012	0.0009	0.0022	0.0032		
35	BER	0.3675	0.3456	0.2809	0.2149	0.1222	0.0677	0.0241	0.0111	0.0033	0.0032	0.0022	0.0021	0.0018		
40	BER	0.3986	0.3678	0.3	0.2555	0.1499	0.1031	0.0433	0.0182	0.0058	0.0043	0.0046	0.0029	0.0048		
45	BER	0.404	0.373	0.3226	0.2734	0.1884	0.131	0.0623	0.0324	0.0121	0.0076	0.0074	0.0024	0.0046		
50	BER	0.4123	0.4028	0.3399	0.3013	0.2102	0.1537	0.0794	0.0476	0.0217	0.0136	0.0084	0.0069	0.007		
55	BER	0.4339	0.4196	0.3677	0.3228	0.2539	0.1894	0.0847	0.0505	0.0196	0.0108	0.0101	0.0075	0.0095		
60	BER	0.434	0.4185	0.3653	0.3267	0.2512	0.1813	0.0992	0.0583	0.0259	0.0152	0.0171	0.0095	0.0093		

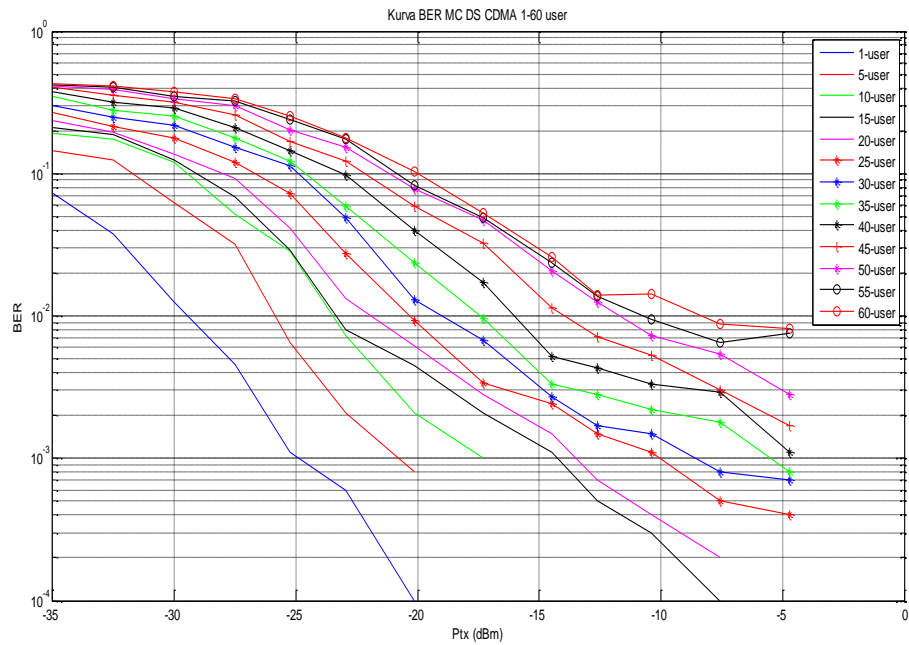
**Tabel 4.4** BER hasil pengukuran 1-60 user SC DS CDMA

BER MC DS CDMA														
PENGAMATAN		GAIN												
Jumlah user yg dikirim	Parameter	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
1	BER	0.0721	0.0376	0.0125	0.0046	0.0011	0.0006	0.0001	0	0	0	0	0	0
5	BER	0.1433	0.1255	0.0627	0.0321	0.0065	0.0021	0.0008	0	0	0	0	0	0
10	BER	0.1924	0.1756	0.1203	0.052	0.0285	0.0073	0.0021	0.001	0	0	0	0	0
15	BER	0.2105	0.187	0.1239	0.0682	0.0288	0.008	0.0045	0.0021	0.0011	0.0005	0.0003	0.0001	0
20	BER	0.2349	0.1961	0.137	0.0924	0.0413	0.0132	0.0062	0.0028	0.0015	0.0007	0.0004	0.0002	0
25	BER	0.2688	0.2135	0.1763	0.119	0.0725	0.0275	0.0092	0.0034	0.0024	0.0015	0.0011	0.0005	0.0004
30	BER	0.3021	0.2486	0.2173	0.1529	0.1127	0.0488	0.013	0.0067	0.0027	0.0017	0.0015	0.0008	0.0007
35	BER	0.3452	0.2792	0.2544	0.1766	0.1222	0.0587	0.0237	0.0097	0.0033	0.0028	0.0022	0.0018	0.0008
40	BER	0.3776	0.3194	0.2897	0.2119	0.1453	0.097	0.0396	0.0172	0.0052	0.0043	0.0033	0.0029	0.0011
45	BER	0.4021	0.3544	0.3147	0.2589	0.1679	0.122	0.0586	0.0324	0.0115	0.0072	0.0053	0.003	0.0017
50	BER	0.4079	0.3887	0.3327	0.2978	0.2011	0.1518	0.0785	0.0468	0.0209	0.0125	0.0073	0.0054	0.0028
55	BER	0.4201	0.4022	0.3489	0.3221	0.2379	0.1753	0.0822	0.0492	0.0238	0.0137	0.0095	0.0065	0.0075
60	BER	0.4286	0.4128	0.3752	0.3326	0.2521	0.1785	0.1025	0.0531	0.0259	0.0139	0.0142	0.0087	0.0081

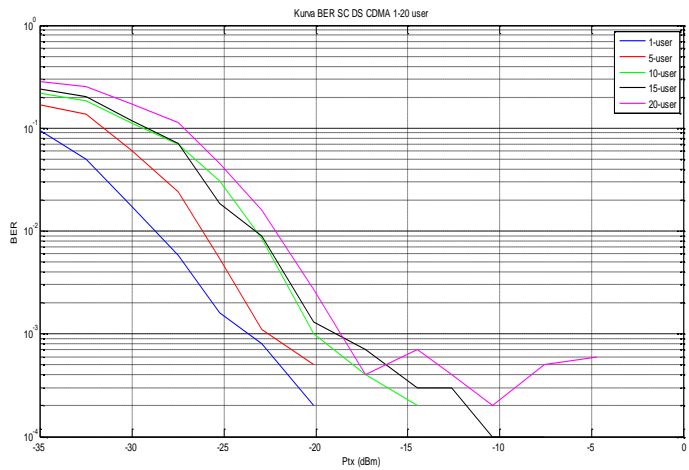
**Tabel 4.5** BER hasil pengukuran 1-60 user MC DS CDMA .



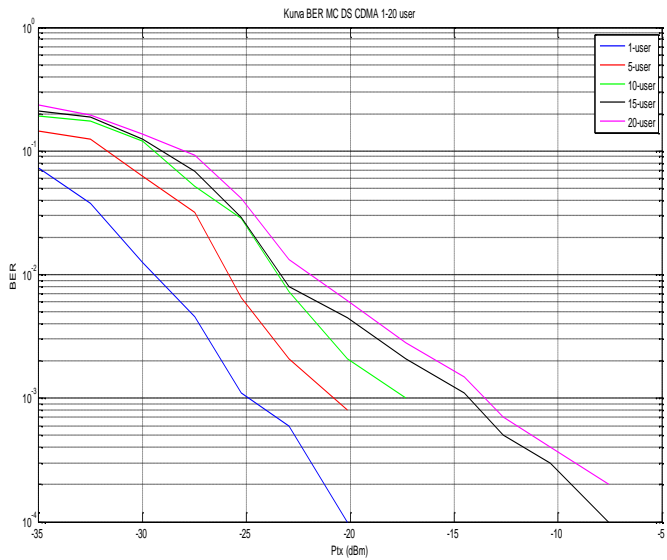
**Gambar 4.21** Kurva BER SC DS CDMA 1-60 *user*



**Gambar 4.22** Kurva BER MC DS CDMA 1-60 user



**Gambar 4.23** Kurva BER SC DS CDMA 1-20 user



**Gambar 4.24** Kurva BER MC DS CDMA 1-20 user

Dari tabel 4.3 dan 4.4 serta dari gambar 4.21 dan 4.22 dapat kita analisa unjuk kerja dari MC DS CDMA dibandingkan terhadap SC DS CDMA. Pada kurva SC DS CDMA terlihat bahwa nilai BER semakin meningkat dengan semakin bertambahnya *user* yang menggunakan sistem. Hal ini pula yang terjadi pada kurva MC DS CDMA. Hal yang membedakan keduanya adalah pola kenaikan BER pada MC DS CDMA terhadap kenaikan jumlah *user* lebih rendah nilainya daripada pola kenaikan BER terhadap *user* pada SC DS CDMA. Misalnya saja dapat kita tinjau pada saat gain daya pancar bernilai 0, BER pada SC DS CDMA berurut – turut untuk satu *user* adalah 0,094, lima *user* adalah 0,1669 dan 10 *user* adalah 0,2183. Sedangkan pada saat gain daya pancar ( $Tx\_Rf$ ) bernilai 0, BER pada MC DS CDMA berturut – turut satu *user* adalah 0,0721, lima *user* adalah 0,1433, dan 10 *user* adalah 0,1924. Hal ini membuktikan bahwa sistem komunikasi MC DS CDMA lebih tahan terhadap *noise*.

Kemudian dapat kita bandingkan pula pola kurva BER MC DS CDMA terhadap SC DS CDMA. Dari gambar 4.21 dan 4.22 dapat kita lihat bahwa pola kurva BER MC DS CDMA lebih baik daripada pola kurva SC DS CDMA. Hal ini ditunjukkan dengan bentuk kurva BER MC DS CDMA yang lebih *smooth* turun terhadap kenaikan gain daya pancar ( $Tx\_Rf$ ) dari pada SC DS CDMA. Dalam gambar 4.23 dan 4.24 terlihat bahwa pada saat jumlah *user* 20, kurva BER SC DS CDMA mulai naik pada ujung – ujung kurva. Sedangkan pada kurva MC DS CDMA kurva BER masih turun linier. Selain itu patahan - patahan yang terjadi pada kurva BER MC DS CDMA lebih sedikit dibandingkan dengan SC DS CDMA.

Maka dapat disimpulkan kinerja MC DS CDMA lebih baik dari pada SC DS CDMA dengan jumlah *user* yang sama. Dapat disimpulkan pula MC DS CDMA lebih tahan terhadap *noise* dan *flat fading* akibat *multipath* yang ditunjukkan dengan bentuk kurva BER yang lebih *smooth*.

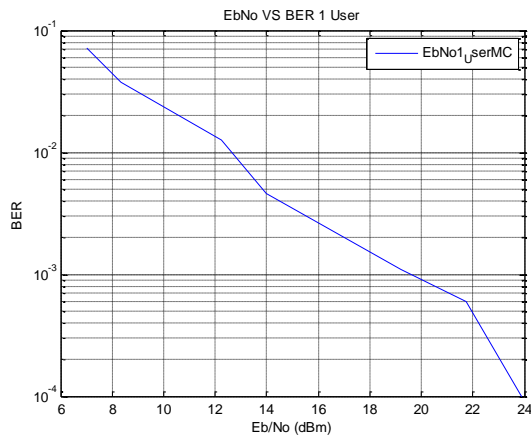
#### 4.2.4 Analisa Eb/No

Dalam tugas akhir ini diukur pula nilai Eb/No sebagai penunjang unjuk kerja sistem MC DS CDMA . Nilai Eb/No MC DS CDMA untuk 1 *user* ditunjukkan dalam tabel 4.6.

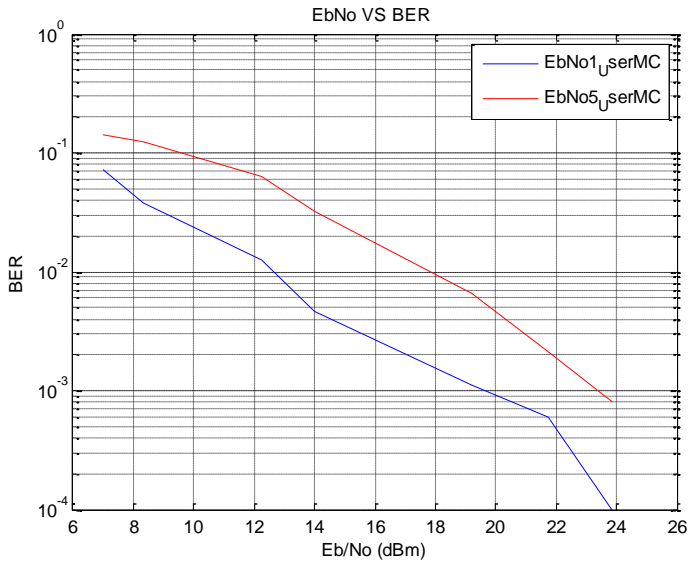
**Tabel 4.6** Eb/No MC DS CDMA 1 user

Gain	Eb/No (dbm)	BER
0	7,002	0,0721
5	8,34	0,0376
10	12,223	0,0125
15	13,778	0,0046
20	19,21	0,0011
25	21,73	0,0006
30	23,88	0,0001
35	25,76	0
40	25,97	0
45	26,001	0
50	27,67	0
55	29,13	0
60	29,43	0

Dari tabel di atas diperoleh kurva perbandingan BER terhadap Eb/No seperti gambar berikut.



**Gambar 4.25** Eb/No MC DS CDMA 1 User



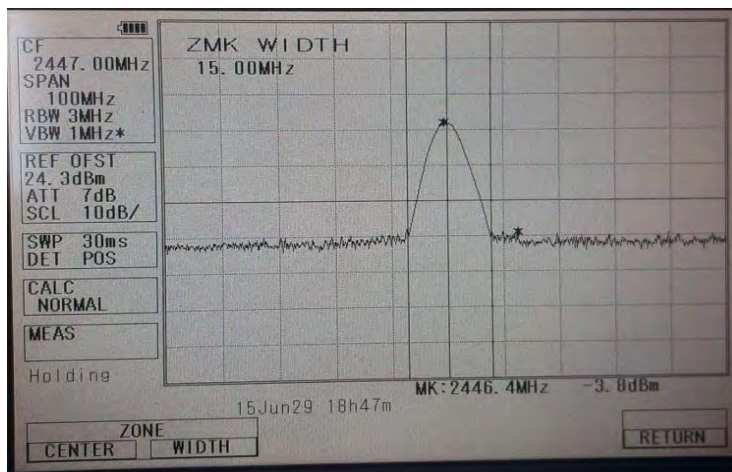
**Gambar 4.26** Perbandingan Eb/No terhadap BER 1 user dan 5 user

Dari tabel 4.6 dan Gambar 4.25 dapat diketahui bahwa nilai Eb/No akan semakin besar seiring dengan kenaikan level gain. Hal ini terlihat pada gain 0, diperoleh nilai Eb/No sebesar 7,002 dbm. Sedangkan nilai Eb/No terbesar didapatkan pada saat gain 60 yaitu sebesar 29,43 dbm. Nilai BER juga akan semakin turun seiring dengan kenaikan nilai Eb/No. Selain itu jika dibandingkan terhadap gambar 4.19, dapat dilihat bahwa nilai BER akan semakin turun terhadap kenaikan nilai PTx (dbm). Maka dapat disimpulkan bahwa nilai BER akan sama turunnya terhadap kenaikan nilai PTx (dbm) maupun kenaikan nilai Eb/No (dbm). Pada gambar 4.26 dapat dilihat pula perbandingan nilai Eb/No terhadap BER 1 user dan BER 5 user. Nilai Eb/No yang dipilih untuk dibandingkan adalah nilai Eb/No 1 user dengan alasan nilai tersebut adalah *real* tanpa ada pengaruh *multiuser interference*. Dari gambar tersebut diperoleh kesimpulan bahwa nilai perbandingan BER terhadap Eb/No akan semakin tinggi seiring dengan pertambahan jumlah *user* yang dikirimkan.



#### 4.2.5 Spektrum MC DS CDMA

Dalam tugas akhir ini digunakan WARP sebagai hardware dari implementasi sistem komunikasi MC DS CDMA. Ketika data digital yang telah direncanakan dalam matlab siap untuk dikirimkan, maka WARP akan merubahnya ke dalam bentuk analog melalui DAC inphase dan quadrature. Setelah data diubah ke dalam bentuk analog, maka data akan dikuatkan oleh *transmitter amplifier* untuk kemudian ditransmisikan melalui antenna. Pada saat inilah data ini dikirimkan melalui kanal *real* dimana data akan ditumpangkan pada frekuensi *carrier* WARP. Adapun frekuensi *carrier* WARP adalah 2,447 GHz. Nilai frekuensi ini dibuktikan pada saat pengukuran menggunakan *spectrum analyzer* pada gambar berikut.



**Gambar 4.27** Hasil pengukuran *spectrum analyzer*

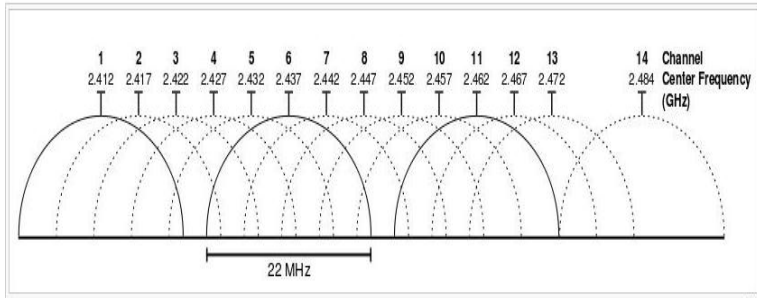
Dari gambar di atas terlihat bahwa nilai frekuensi carrier yang terbaca mendekati 2,447 GHz yaitu 2,4469 GHz. Maka dapat disimpulkan data pengukuran menggunakan *spectrum analyzer* ini valid.

Frekuensi kerja dari WARP ini mengacu pada rekomendasi IEEE 802.11g yang mengatur tentang *wireless* LAN. Pada saat pengukuran, digunakan sistem kanal 8 yang pembagiannya sesuai dengan rekomendasi IEEE 802.11g sebagai berikut.

**Tabel 4.7** Pembagian kanal WARP

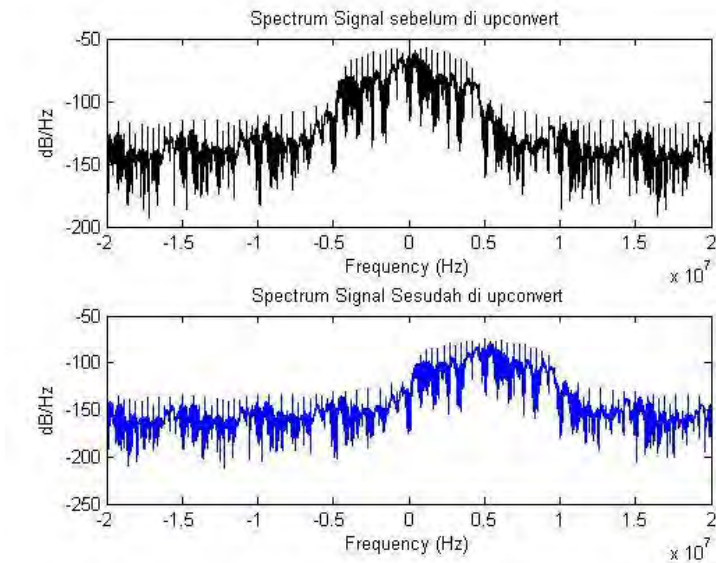
Channel	Center frequency	Channel width	Overlapping channels
1	2.412 GHz	2.401 GHz - 2.423 GHz	2,3,4,5
2	2.417 GHz	2.406 GHz - 2.428 GHz	1,3,4,5,6
3	2.422 GHz	2.411 GHz - 2.433 GHz	1,2,4,5,6,7
4	2.427 GHz	2.416 GHz - 2.438 GHz	1,2,3,5,6,7,8
5	2.432 GHz	2.421 GHz - 2.443 GHz	1,2,3,4,6,7,8,9
6	2.437 GHz	2.426 GHz - 2.448 GHz	2,3,4,5,7,8,9,10
7	2.442 GHz	2.431 GHz - 2.453 GHz	3,4,5,6,8,9,10,11
8	2.447 GHz	2.436 GHz - 2.458 GHz	4,5,6,7,9,10,11,12
9	2.452 GHz	2.441 GHz - 2.463 GHz	5,6,7,8,10,11,12,13
10	2.457 GHz	2.446 GHz - 2.468 GHz	6,7,8,9,11,12,13
11	2.462 GHz	2.451 GHz - 2.473 GHz	7,8,9,10,12,13
12	2.467 GHz	2.456 GHz - 2.478 GHz	8,9,10,11,13,14
13	2.472 GHz	2.461 GHz - 2.483 GHz	9,10,11,12,14
14	2.484 GHz	2.473 GHz - 2.495 GHz	12,13

Dari tabel di atas *bandwidth* yang direkomendasikan sebesar 22 MHz. Namun dalam datasheet WARP *bandwidth* maksimal yang digunakan adalah 20 MHz. Sedangkan untuk *bandwidth* data secara teoritis adalah 500 MHz yang didapatkan dari 126 kali *rate symbol*. Pada saat dilakukan pengukuran menggunakan *spectrum analyzer* diperoleh nilai *bandwidth* sebesar 15 MHz. Nilai ini lebih kecil dari *bandwidth* maksimum WARP dikarenakan adanya sensitifitas alat, noise floor, besarnya *zero padding* yang berbeda – beda serta faktor eror lainnya. Tetapi *bandwidth* sinyal ini masih dapat dilewatkan karena masih dalam *range bandwidth* sinyal WARP yaitu 20 MHz.

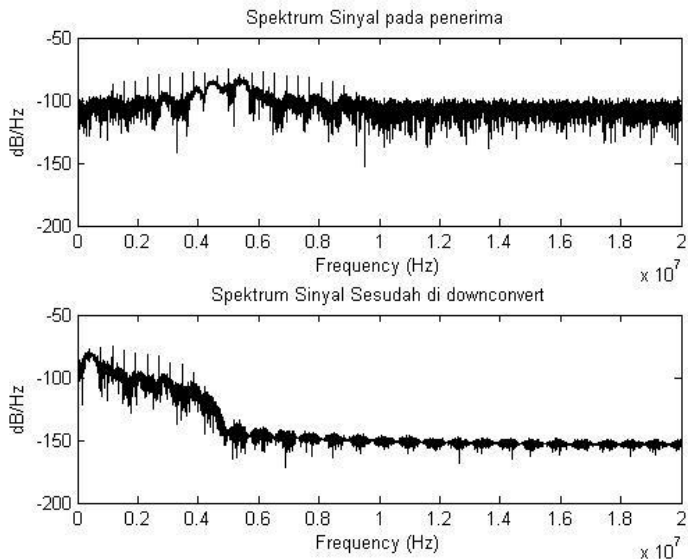


**Gambar 4.28** Ilustrasi kanal dan bandwidth WARP

Dari gambar di atas terlihat jelas bandwidth atau rentang frekuensi setiap kanal adalah 22 MHz. Maka dapat disimpulkan nilai bandwidth yang digunakan dalam pengukuran ini pada kanal 8 adalah 22 MHz.



**Gambar 4.29** Spektrum MC DS CDMA pada pengirim



**Gambar 4.30** Spektrum MC DS CDMA pada penerima

Dari gambar 4.29 dan 4.30 terlihat bentuk spektrum dari MC DS CDMA. Pada pengirim sebelum sinyal dikirimkan maka akan dilakukan proses upconvert yaitu menggeser sinyal basenband ke dalam frekuensi 5MHz seperti ditunjukkan dalam gambar 4.29. Ketika sinyal ditransmisikan maka pada penerima sinyal ini akan melalui proses downconvert atau dikembalikan ke frekuensi semula untuk mendapatkan data sinyal informasi yang sesungguhnya seperti yang ditunjukkan dalam gambar 4.30.

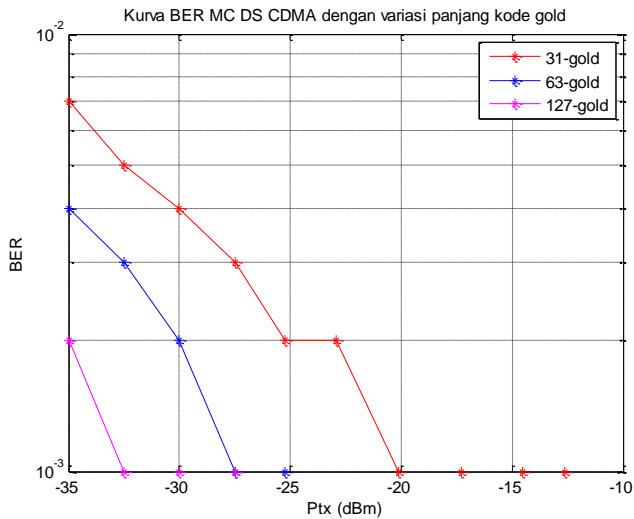
#### **4.2.6 Pengaruh Subcarrier dan Panjang Kode Spreading**

Kinerja sistem komunikasi MC DS CDMA secara teoritis juga dipengaruhi oleh banyaknya *subcarrier* yang digunakan serta panjang kode *spreading* yang digunakan. Dalam tugas akhir ini telah didapatkan nilai BER MC DS CDMA untuk variasi panjang kode *spreading* yaitu dengan panjang kode 31, 63, dan 127. Adapun kode

*spreading* yang digunakan adalah kode gold. Hasil simulasi melalui matlab dengan kanal AWGN adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.8** BER dengan variasi panjang kode gold

Gain	BER		
	31 length code	63 length code	127 length code
0	0,007	0,004	0,002
5	0,005	0,003	0,001
10	0,004	0,002	0,001
15	0,003	0,001	0,001
20	0,002	0,001	0
25	0,002	0	0
30	0,001	0	0
35	0,001	0	0
40	0,001	0	0
45	0,001	0	0
50	0	0	0
55	0	0	0
60	0	0	0



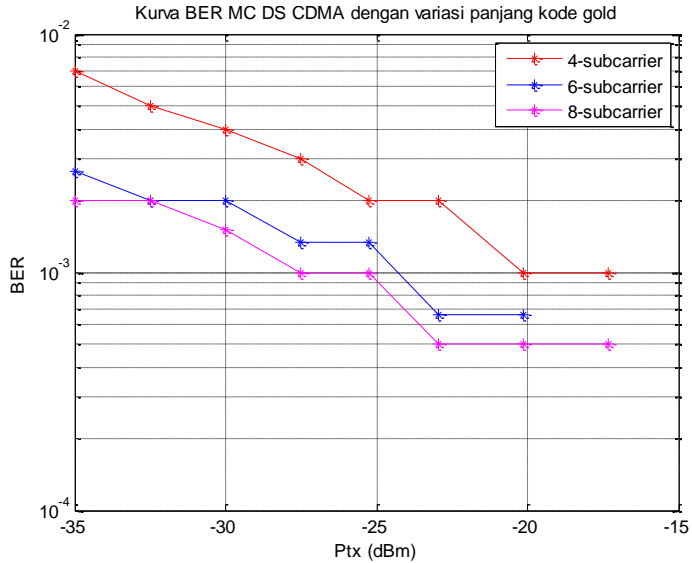
**Gambar 4.31** Kurva BER MC DS CDMA variasi panjang kode

Dari tabel 4.8 dan gambar 4.31 dapat dianalisa perbandingan nilai BER untuk panjang kode *spreading gold* 31, 63 dan 127. Dapat dilihat pada saat gain 20, nilai BER untuk MC DS CDMA dengan panjang kode *gold* 31 adalah 0,002. Dengan gain yang sama nilai BER untuk panjang kode *spreading gold* 63 adalah 0,001 dan untuk panjang kode 127 nilai BER nya adalah 0. Maka dapat diambil kesimpulan bahwa panjang kode *spreading* yang digunakan dalam sistem komunikasi MC DS CDMA turut mempengaruhi nilai BER, dimana semakin panjang *sequence* kode *spreading* yang digunakan maka semakin bagus pula nilai BER yang didapatkan.

Selain panjang kode spreading yang berbeda telah disimulasikan, maka disimulasikan pula pada kanal AWGN pengaruh dari jumlah *subcarrier* yang digunakan dalam sistem komunikasi MC DS CDMA. Adapun hasil simulasi adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.9** BER dengan variasi jumlah *subcarrier*

Gain	BER		
	4 Subcarrier	6 Subcarrier	8 Subcarrier
0	0,007	0,00266	0,002
5	0,005	0,002	0,002
10	0,004	0,002	0,0015
15	0,003	0,00133	0,001
20	0,002	0,00133	0,001
25	0,002	0,00066	0,0005
30	0,001	0,00066	0,0005
35	0,001	0	0,0005
40	0,001	0	0
45	0,001	0	0
50	0	0	0
55	0	0	0
60	0	0	0



**Gambar 4.32** Kurva BER MC DS CDMA dengan variasi *subcarrier*

Dari tabel 4.9 dan gambar 4.32 dapat kita lihat nilai BER semakin turun seiring dengan meningkatnya jumlah *subcarrier* yang digunakan. Pada saat gain 30 nilai BER MC DS CDMA untuk 4 subcarrier adalah 0,001, untuk 6 *subcarrier* adalah 0,00066 dan 0,0005 untuk *subcarrier* 8. Maka dapat disimpulkan nilai BER akan semakin turun jika digunakan jumlah *subcarrier* yang semakin besar.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan pembahasan pada pembahasan Bab IV, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin besar jarak antara *node* pengirim dan *node* penerima, maka nilai BER akan semakin besar pula. Hal ini dibuktikan pada jarak 3 meter untuk gain 20 diperoleh nilai BER 0, sedangkan pada jarak 5 meter dengan gain yang sama diperoleh nilai BER 0,0011.
2. Semakin besar level daya pancar, nilai BER akan semakin kecil. Hal ini dibuktikan dengan level daya pancar 5 diperoleh nilai BER 0,0376, sedangkan dengan level daya pancar 20 diperoleh nilai BER 0,0011.
3. Sistem komunikasi MC DS CDMA memiliki unjuk kerja yang lebih baik jika dibandingkan terhadap sistem komunikasi SC DS CDMA. Hal ini dibuktikan dengan nilai BER MC DS CDMA lebih rendah terhadap nilai BER SC DS CDMA, berlaku baik pada perubahan jarak maupun perubahan level daya pancar.
4. Sistem komunikasi MC DS CDMA lebih cocok digunakan untuk komunikasi *multiuser* jika dibandingkan dengan sistem komunikasi SC DS CDMA, dibuktikan dengan bentuk kurva BER yang masih *smooth* turun sampai pada pengiriman data 20 *user*.
5. Nilai Eb/No berbanding terbalik dengan nilai BER. Semakin besar nilai Eb/No, maka semakin kecil nilai BER. Hal ini dibuktikan pada tabel 4.6 dimana BER bernilai 0 untuk nilai Eb/No 25,76, sedangkan BER bernilai 0,0046 untuk nilai Eb/No 13,778.
6. Nilai BER sama turunnya terhadap kenaikan nilai Eb/No dan level daya pancar.



## 5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang dapat diberikan penulis untuk penelitian selanjutnya dari implementasi sistem komunikasi menggunakan modul WARP adalah sebagai berikut :

1. Penerapan sistem komunikasi MC DS CDMA untuk komunikasi MIMO.
2. Penggunaan jarak anatar node yang lebih jauh antara node pengirim dan node penerima untuk melihat adanya efek *multipath* maupun *fading*.
3. Informasi yang dikirimkan berupa konten multimedia seperti suara, gambar atau video.

## LAMPIRAN

### A. LEMBAR PROPOSAL

Jurusan Teknik Elektro – FTI  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
TE 141599 TUGAS AKHIR – 4 SKS

Nama Mahasiswa : Moh Ismail Marzuki  
Nomor Pokok : 2211100008  
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia  
Tugas Diberikan : Semester Genap 2014/ 2015  
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.  
2. Dr. Ir. Suwadi, MT

Judul Tugas Akhir : **Implementasi dan Evaluasi Kinerja Multi Carrier Direct Sequence Code Division Multiple Access (MC-DS-CDMA) menggunakan Wireless Open-Access Research Platform (WARP). (Implementation and Performance Evaluation of Multi Carrier Direct Sequence Code Division Multiple Access (MC-DS-CDMA) using Wireless Open-Access Research Platform (WARP)).**

Uraian Tugas Akhir :  
Pada sistem komunikasi digital *wireless* dituntut untuk dapat melayani *high data rate* dengan QoS yang memadai. Maka dari itu digunakanlah system *Multicarrier* yang menawarkan keunggulan dalam efisiensi penggunaan spectrum frekuensi dimana dilizinkannya antar *subcarrier* yang *overlap* dengan prinsip *orthogonallitas*. Pada sistem MC-DS-CDMA, sejumlah *user* akan menggunakan lebar *bandwidth* yang sama dan dalam waktu yang bersamaan. Setiap *user* dibedakan oleh kode unik (kode penebar), maka diperlukan adanya korelasi antar kode penebar yang digunakan.  
MC-DS-CDMA ini akan diimplementasikan pada suatu platform yang bernama WARP (*Wireless Access Research Platform*). WARP adalah platform nirkabel *scalable* dan *extensible* yang dapat diprogram sebagai model jaringan nirkabel. Modul WARP tersebut akan digunakan sebagai model pemancar dan penerima pada pengukuran kualitas kinerja sistem MC-DS-CDMA dengan menggunakan *software* MATLAB. Pengukuran kualitas kinerja teknik MC-DS-CDMA akan dilakukan pada kanal *real*. Hasil yang diharapkan yaitu mengetahui hingga berapa banyak *user* pada sistem MC-DS-CDMA dibandingkan dengan SC-DS-CDMA yang dapat dilayani secara simultan pada satu *downlink* dengan meninjau *Bit Error Rate* (BER).  
Kata Kunci : MC-DS-CDMA, WARP, *Bit Error Rate* (BER).

Dosen Pembimbing I  
  
**Dr. Ir. Titiek Suryani, MT**  
NIP. 19641130 1989032 001

Dosen Pembimbing II  
  
**Dr. Ir. Suwadi, MT**  
NIP. 19680818 1993031 002

Mengetahui,  
Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS  
Ketua,  
  
**Dr. Tri Arief Sardiono, ST, MT**  
NIP. 19700212 1995121 001

Menyetujui,  
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia  
Koordinator,  
  
**Dr. Ir. Endro Wana, D.E.A**  
NIP. 19650404 1991021 001

12 FEB 2015

----- Halaman ini sengaja dikosongkan -----

## B. LISTING PROGRAM

```
+ Main_program.m
%% SISO analysis.

%Initialize
clear all;
close all;
clc;
warning off;

%Inisialisasi
initial;

%Construct frames
frame_tx;

%Transmisi data melalui WARP 2x2, Mode transmisi
SISO
tx_bb_gain = 1;
tx_rf_gain = 30; %0:63 ~= 0:31 dB
rx_bb_gain = 1; %15%1
rx_rf_gain = 1; %3
[rx_IQ,rx_RSSI,rx_gains] =
warp_transmit(xt_mf,tx_bb_gain,tx_rf_gain,...
    rx_bb_gain,rx_rf_gain);

% rx_IQ = awgn(xt_mf,20);

%Demodulasi Semua frame rx_IQ
frame_rx;
%% menghitung inphase dan quadrature untuk
menghitung Eb/No
% hIa(:,jj)=real(uki1);
% hQa(:,jj)=imag(uki1);
% hIb(:,jj)=real(uki2);
```

```

% hQb(:,jj)=imag(uki2);
% hIc(:,jj)=real(uki3);
% hQc(:,jj)=imag(uki3);
% hId(:,jj)=real(uki4);
% hQd(:,jj)=imag(uki4);

```

## **Initial.m**

```

% Proses inisialisasi sistem. Hal yang
% dilakukan adalah sebagai berikut:
%   - Definisi vektor waktu
%   - Definisi Frekuensi sampling sistem
%   - Definisi sistem modulasi

%Frek. sampling dan waktu sampling
Fs = 40e6;
Ts = 1/Fs;

%Vektor waktu
L = 2^14;
t = (0:L-1)/Fs;

%Sistem modulasi yang digunakan
M = 2;
k = log2(M);
if M > 2
    ph_off = 0;
    h_bb_mod =
modem.pskmod('M',M,'PhaseOffset',ph_off);
    h_bb_demod =
modem.pskdemod('M',M,'PhaseOffset',ph_off);
else
    h_bb_mod = modem.pskmod('M',M);
    h_bb_demod = modem.pskdemod('M',M);
end

```



## tx.m

```
% Proses pembentukan frame untuk proses
transmisi data. Pada tiap-tiap
% langkah akan dijabarkan proses pembentukan
frame.

%Data bit
% definisi data biner yang ditransmisikan. Data
bisa berbentuk apapun,
% misalnya, biner acak/ data dari
suara/gambar/video

clear all;
close all;
clc;
%% PROSES PEMBANGKITAN KODE GOLD
m = 6;
N = 2^m-1;
limit = N;

%Pembangkitan PNSequence 1
sreg1 = [0 0 0 0 0 1];
for i=1:N;
    PNcode1 = mod(sreg1(6)+sreg1(1),2);
    hasil1(i) = sreg1(6);
    sreg1 = circshift(sreg1,[0,1]);
    sreg1(1) = PNcode1;
end
PNS1 = hasil1;

% % Pembangkitan PNSequence 2
sreg2 = [1 0 1 0 1 1];
for j=1:N;
    PNcode2 =
mod(mod(mod(sreg2(6)+sreg2(5),2)+sreg2(2),2)+sre
g2(1),2);
    hasil2(j) = sreg2(6);
    sreg2 = circshift (sreg2,[j,1]);
```

```

        sreg2(1) = PNcode2;
    end
    PNS2 = hasil2;

    % Pembangkitan Kode Gold
    for i=1:N;
        geser = circshift(PNS2,[0,i+(N-1)]);
        if (i==1)
            bangkit = xor(PNS1,PNS2);
        else
            bangkit = xor(PNS1,geser);
        end
        kodeawal(i,:) = bangkit;
    end
    kode1 = kodeawal;
    kode2 = reshape(kode1.',1,N*limit);

    for i=1:length(kode2);
        if kode2(i) == 0;
            kode3 = -1;
        else
            kode3 = 1;
        end

        HasilKode(i) = kode3;
    end
    KodeGold = HasilKode;
    GenKodeGold = (reshape(KodeGold,N,limit)).';
    %% PROSES PEMBANGKITAN DATA INPUT dan MODULASI
    User 1
    %input_data1 = 12;%banyak data input
    Nc = 10;
    Jdata = Nc*1000
    data_user1 = randi([0 1],1,Jdata);%proses
    pembangkitan data input
    data_carrier1 =
    reshape(data_user1,Nc,[]);%proses serial to
    parallel

```

```

data_modulasi1 = pskmod(data_carrier1,2);%
modulasi bpsk matrix 4x100 ke dalam 0=1 dan 1=-1
%spreading
data_spreading1=[];
for i=1:Nc
    spread_data1 =
GenCodeGold(11,:).'*data_modulasi1(i,:);
    data_spread1(i,:) =
reshape(spread_data1,1,[]);
end

```

```

%% PROSE PEMBANGKITAN DATA INPUT dan MODULASI
User 2
data_user2 = randi([0 1],1,Jdata);%proses
pembangkitan data input
data_carrier2 =
reshape(data_user2,Nc,[]);%proses serial to
paralel
data_modulasi2 = pskmod(data_carrier2,2);%proses
modulasi menjadi -1 dan 1
%spreading
for i=1:Nc
    spread_data2 =
GenCodeGold(12,:).'*data_modulasi2(i,:);%setiap
subcarrier dikalikan dengan Kode Gold yang telah
dipilih
    data_spread2(i,:) =
reshape(spread_data2,1,[]);%untuk merubah matrik
perkalian PN kode dengan data subcarrier menjadi
1 baris
end
%% Banyak user menyesuaikan
%data_spreading2 = reshape(data_spread2,1,[]);
%proses IFFT
% data_ifft2 = ifft(data_spreading2);

```

```

%Penggabungan semua data user

```



```

% KIRIM = [data_ifft1;data_ifft2];%proses
penggabungan semua data user
KIRIM = data_spread1+data_spread2;
nifft=16;
OFDM=ifft(KIRIM,nifft);
ofdmTx=reshape(OFDM,1,[]);
ofdmTx2=reshape(ofdmTx,[],1);
% data_spreadingfix = reshape(( ofdmTx),[],1);

n_spreading = length( ofdmTx2);

%% IMPLMENTASI
%% Vektor waktu
Fs = 40e6;
Ts = 1/Fs;
L = 2^14; %16384
t = (0:L-1)/Fs; %pengaruh di data_sym

%Hitung total data payload yang dibutuhkan,
setelah dikurangi preamble,
%txDelay dan CSI bits
%Tentukan symbol rate, cari nilai upsample
rate untuk SRRC Filter. Satuan
%symbol rate adalah symbol/s
%Rsym = 3e6; untuk 13 bit satu simbol
% untuk 8 bit

Rsym = 5e6
%Rsym = 5.5e6 untuk 7
% Rsym = 6e6 untuk 6
nsamp = floor(Fs/Rsym);
%Nilai nsamp harus integer, setelah pembulatan
kebawah, hitung rate simbol
%sebenarnya.
Rsym = Fs/nsamp;

% Pembentukan Preamble

```

```

% Preamble bertujuan untuk penentuan titik
sampling pertama pada penerima.
% pream = [-1;-1;-1;1;-1;0;0;0;0;0;0;0;0];
% pream = [0;0;0;0;-1+1i;1-1i;-1+1i;-1+1i;-
1+1i;1-1i;-1+1i;0;0;0;0;0;0;0;0;0];
% pream = [1+1i;1+1i;1+1i;0;0;0;-1-1i;-1-1i;-1-
1i;0;1+0i;1+0i;1+0i;0;0;0;0;0];
pream = 7*[1+1i;1+1i;1+1i;0;0;0;-1-1i;-1-1i;-1-
1i;0;1+0i;1+0i;1+0i;0;0;0;0;0];
pream_len = length(pream);

%Correlation Matrix
% Pembentukan matriks korelasi preamble
% corr_win = 150; % untuk 7 bit
% corr_win = 130; untuk 6 bit
corr_win = 400; %at least corr_win >=
pream_len*nsamp (MQAM=152-223)
pream_up = upsample(pream,nsamp);
ref_vect = zeros(corr_win,1);
ref_vect(1:length(pream_up)) = pream_up;
ref_matx =
toeplitz(ref_vect,circshift(ref_vect(corr_win:-
1:1),1));

%Definisi Transmission delay
% Panjang frame L akan dikurangi sejumlah delay
untuk menangani
% transmission delay. Jika semua frame terisi
informasi, ketika terjadi
% delay pada proses transmisi, maka akan ada
data yang tidak tertangkap
% pada penerima. Sehingga diperlukan delay
transmisi. Satuan : sampel
txDelay = 400;

%Phase ambiguity detector/ Channel State
Information sequence
% Bertujuan untuk menangani ambiguitas
fasa/perputaran pada konstellasi.

```

```

% Agar sistem SIMO bisa berfungsi dengan baik,
data yang diterima harus
% terletak pada kuadran yang sesuai. Gunakan
CSI dengan nilai 1
CSI_syms = 150; %Jumlah simbol untuk CSI
CSI_dat = ones(CSI_syms,1);

%Desain Square Root Raised Cosine
%Parameter desain menggunakan nsamp sebagai
upsample rate, N_SRRC sebagai
%orde filter dan roll-off factor R_SRRC
shape = 'Square Root Raised Cosine';
N_Ord = 6; %Genap
R_SRRC = 0.9; %[0-1]
SRRC_spec =
fdesign.pulshaping(nsamp,shape,'Nsym,Beta',N
_Ord,R_SRRC);
h_SRRC = design(SRRC_spec);
flt_delay = h_SRRC.order/2; %or nsamp*N_Ord
norm_factor = max(h_SRRC.numerator);
h_SRRC.numerator =
h_SRRC.numerator/norm_factor; %Normalisasi
filter

%Jumlah simbol maksimum yang bisa dimuat dalam
satu transmission frame,
%data_sym mencakup CSI dan data yang
ditransmisikan
data_sym = floor((L-(pream_len*nsamp)-txDelay-
flt_delay)/nsamp);

% %Baseband Modulation tambahan mbak array
% % Mulai proses modulasi baseband (BB).
Kecuali preamble dan CSI, semua
% % symbol frame akan mengalami modulasi
baseband.
% n_sym_dat = modulate(h_bb_mod,n_dat);

```

```

%Bit stuffing and frame construction
% Bit stuffing adalah memasukan symbol 1 (CSI)
secara periodik dalam 1
% frame transmisi. Fungsi bit stuffing ini
adalah sebagai metode untuk
% melakukan interpolasi dan estimasi kanal pada
penerima. Dalam satu frame
% transmisi akan memiliki total simbol <=
data_sym tergantung dari jumlah
% symbol CSI yang digunakan.
% Representasi grafis bit stuffing:
% |-----data_sym-----
-----|
% CSI - <sub-frames> -- CSI - <sub-frames> -- ...
- <sub-frames> -- CSI

%Tentukan jumlah simbol data diantara simbol CSI
sym_size = floor(data_sym/(CSI_syms-1))-1;
%Tentukan total sub-frame data
sub_frame = CSI_syms-1;
%Total panjang frame aktual dengan stuffed bits
fr_len = sub_frame*sym_size + CSI_syms;
%Update nilai data_sym
data_sym = fr_len - CSI_syms;
%Hitung total frame data, hitung padding,
tambahkan bit stuffing
n_frames = ceil(n_spreading/data_sym)

stuff_sym = [upsample(CSI_dat(1:CSI_syms-
1),sym_size+1);CSI_dat(end)];
n_dat_fr = repmat(stuff_sym,1,n_frames);
pad = n_frames*data_sym - n_spreading;
% Tambahkan zero padding pada symbol
n_sym_dat = [ofdmTx2;zeros(pad,1)];
%Reshape n_sym_dat
n_sym_dat = reshape(n_sym_dat,data_sym,n_frames);

```

```

%Bagi data menjadi beberapa frame, tambahkan
bit stuffing
for ii=1:n_frames
    n_dat_fr(:,ii) =
sym_stuffing(n_dat_fr(:,ii),n_sym_dat(:,ii),sy
m_size);
end

%Tambahkan preamble
temp_mat1 = repmat(pream,1,n_frames);
xt_dat = [temp_mat1;n_dat_fr];

%Interpolasi, matched filtering, tambahkan
filter delay
xt_mf_bb =
filter(h_SRRRC,[upsample(xt_dat,nsamp);zeros(fl
t_delay,n_frames)]);
xt_mf = zeros(size(xt_mf_bb));

%Clear unused variables
clear temp_mat1 stuff_sym n_sym

%Upconvert semua frame, normalisasi
time = [(0:length(xt_mf)-1)/Fs].';
f = 5e6;
for ii=1:n_frames
    xt_mf(:,ii) =
xt_mf_bb(:,ii).*exp(1i*2*pi*f*time);
    norm_fact = max( [ max(real(xt_mf(:,ii))) ,
max(imag(xt_mf(:,ii))) ] );
    %Normalize frame
    xt_mf(:,ii) = xt_mf(:,ii)./norm_fact;
end

```

 **rx.m**

```

%% Sinkronisasi dan Downconvert semua frame
time = ((0:length(rx_IQ)-1)/Fs).';
rx_IQ_disp = rx_IQ;
for ii=1:n_frames
    %vco_sig = syn_frame(rx_IQ(:,ii),f,Fs);
    vco_sig = exp(1i*2*pi*f*time);
    rx_IQ(:,ii) = rx_IQ(:,ii).*conj(vco_sig);
end

%Sinkronisasi fasa

%Matched filtering
hrx_SRRC = design(SRRC_spec);
hrx_SRRC.numerator = hrx_SRRC.numerator *
(norm_factor*nsamp);
yt_mf =
filter(hrx_SRRC,[rx_IQ;zeros(flt_delay,n_frames)
]);

yt_rx_data = zeros(size(n_dat_fr));
z_sym = zeros(size(n_sym_dat));
ch_est = zeros(size(n_dat_fr));

%Deteksi simbol pertama pada tiap-tiap frame
for ii=1:n_frames
    temp_vct1 = yt_mf(:,ii);

    %      multip =
    max([ max(real(temp_vct1(1:corr_win))) ...
          max(imag(temp_vct1(1:corr_win)))]);
    %      temp_vct1(1:corr_win) =
    temp_vct1(1:corr_win)./multip;

    %Cari korelasi tertinggi
    correlation = abs( (temp_vct1(1:corr_win)')
* ref_matx );
    pream_start = find(correlation ==
max(correlation));

```

```

% pream_start = 1;
    first_sample =
pream_start+length(pream_up);

%Downsampling
    temp_vct2 = temp_vct1(first_sample:end);
    %Determine Maximum likelihood first
optimum sampling point
    %ML_samp = ML_first_sym(temp_vct2,nsamp);
    %Start sampling at initial point
    temp_vct3 =
downsample(temp_vct2(1:end),nsamp);

%Trim
temp_vct3 = temp_vct3(1:fr_len);

%Save trimmed vector
    yt_rx_data(:,ii) = temp_vct3;

%Estimasi kanal
ch_est(:,ii) =
estimate_chan(yt_rx_data(:,ii),sym_size);
%ch_e = conj(ch_est(:,ii))./(
( abs(ch_est(:,ii)).^2 );

%Hasil kali yr_rx_data dengan konjugat dari
estimasi kanal
%    yt_rx_data(:,ii) =
yt_rx_data(:,ii).*exp(-1i*angle(ch_est(:,ii)));

%Received symbols:
temp_vct3 =
yt_rx_data(:,ii).*conj(ch_est(:,ii));
%    temp_vct32 =
yt_rx_data2(:,ii).*conj(ch_est2(:,ii));
    multip = [abs(ch_est(:,ii)).^2];
%    multip = sum(multip,2);
    yt_rx_data(:,ii) = (temp_vct3)./multip;

```

```

        %Symbol de-stuffing
        temp_vct3 =
sym_destuffing(yt_rx_data(:,ii),sym_size);

        %Potong semua frame CSI, kumpulkan hasil
data pada matriks tertentu
        z_sym(:,ii) = temp_vct3;
end

% %Save memory
% clear temp_vct1 temp_vct2 temp_vct3
% Save more memory

%Ubah yt_rx_data menjadi vektor, potong yt_syms
yt_syms = reshape(z_sym,data_sym*n_frames,1);
yt_syms = yt_syms(1:length(ofdmTx2));
yt_syms = reshape(yt_syms,nifft,[]);

%proses fft
data_fft = fft(yt_syms,nifft);
dataR = data_fft(1:Nc,:);
for k=1:Nc

dataR2(k,:)=GenKodeGold(11,:)*reshape(dataR(k,:),
,63,[])/63;
end

%% menghitung nilai bit sebelum didemodulasi
untuk menghitung Eb/No
% uki=dataR2.';
% uki1=uki(:,1);
% uki2=uki(:,2);
% uki3=uki(:,3);
% uki4=uki(:,4);

% mila=ones(1,4)*dataR2;

```



```

BitE=(sign(real(dataR2))-1)/(-2)

% %Potong z_sym agar memiliki panjang sama
% dengan n_dat tambahan mbak array
% z_sym = z_sym(1:length(n_dat));
% rx_siso= z_sym;
%
% yy= de2bi(rx_siso,'left-msb');
% rx_bit=reshape(yy,1,[]);
% % rx_bit = rx_bit.';

bite=reshape(BitE,1,[]);
% BER=biterr(bite,data_user1)
[Numer BER]= biterr(bite,data_user1)

```

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Proakis, John G., “Digital Communications Fourth Edition”, Prentice Hall. California. 2001.
- [2] WARP Project – Wireless Open Access Research Platform. <http://warp.rice.edu/trac> [disunting : 25 Mei 2015].
- [3] Sklar, Bernard., “Digital Communications Fundamentals and Applications”, Prentice Hall. California. 2001
- [4] Torrieri, Don., “Principle of Spread Spectrum Communication Systems”. Springer. New York. 2005.
- [5] Xiong, Fuqin., “*Digital Modulation Technique*”, Artech House INC. USA. 2000.
- [6] Patrick Murphy, Ashu Sabharwal, Belnaam Aazhang. “Design Of WARP:A Wireless Open-Access Research Platform.”, 14th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2006). Florence, Italy. 2006.
- [7] WARP Radio Board Overview - Wireless Open Access Research Platform. *WARP Project - Wireless Open Access Research Platform*.[http://warpproject.org/trac/wiki/HardwareUsersGuides/RadioBoard\\_v1.4](http://warpproject.org/trac/wiki/HardwareUsersGuides/RadioBoard_v1.4). [disunting : 21 Mei 2014]
- [8] Maxim Integrated Product Inc. MAX2829/2829 Single-/Dual-Band 802.11a/b/g World-band Transceiver Ics Datasheet.2004.
- [9] Rappaport, T.S., “Wireless Communications: Principles and Practice 2/E”, Prentice Hall. 2001.

- [10] Sinshuke Hara, Osaka University and Ramjee Prasad, Delf University of Technology, "Overview of MC-CDMA" IEEE Magazine, Desember 1997.
- [11] L Hanzo, LL Yang, EL Kuan and K.yen., "Single and Multi Carrier CDMA Multiuser Detection, Space Time Spreading, Synchronisation and Standarads.", John Wiley – IEEE Press. 2000.
- [12] L. Hanzo, M.M"unster, T. Keller, B-J. Choi, "OFDM and MC-CDMA for Broadband Multi-user Communications, WLANs and Broadcasting", John Wiley - IEEE Press. 2003.
- [13] Basuki Rachmat, Ali Muayadi, Arfianto Fahmi, " Simulasi Sistem DS-CDMA dengan berbagai Kode Penebar", Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2007 (SNATI 2007) .Yogyakarta. 16 Juni 2007.
- [14] Hanzo L, L-L Yang, E-L.Kuan, K.Yen, "Single and Multicarrier CDMA", IEEE Press-John Wiley. 2000.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Moh Ismail Marzuki dilahirkan di kota Gresik pada tanggal 5 Februari 1993. Merupakan anak keempat dari pasangan M Zaimi (alm) dan Sri Kusmiati. Pada tahun 2005 lulus dari SD Putera Darul Islam - Gresik. Pada tahun 2008 lulus dari SMPN 4 – Gresik dan pada tahun 2011 lulus dari SMAN 1 Kebomas – Gresik. Pada tahun yang sama 2011 melanjutkan tingkat S1 di Institut Teknologi Sepuluh November dengan jurusan Teknik Elektro dengan Prodi Telekomunikasi. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email : [Ismailmarzuki076@gmail.com](mailto:Ismailmarzuki076@gmail.com).

----- Halaman Ini sengaja di kosongkan -----